

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE EL ENTRENAMIENTO EN CIRCUITO CON SOBRECARGAS



Autor: Víctor del Olmo Rubio
Tutor: Eugenio Izquiero Macón
Máster en Entrenamiento y Rendimiento deportivo
2016/2017

Índice de tablas e ilustraciones

Tabla 1. Bases de datos utilizadas para la búsqueda de información.	5
Tabla 2. Resultados en las diferentes variables relacionadas con la composición corporal en los dos grupos (ER y JOGG) y en los dos puntos temporales de medición (T1 y T2) (Fett et al., 2009)	18
Tabla3. Variables de programación asociadas a cada protocolo de entrenamiento (Paoli et al., 2010)	19
Tabla 4. Cambios en diferentes variables antropométricas en respuesta a los dos protocolos de entrenamiento (Sperlich et al., 2017)	21
Tabla 5. Marcadores fisiológicos determinados en los diferentes protocolos y en relación al género (mujeres y hombres) y en conjunto (Benito et al., 2016)	23
Tabla 6. Cambios en diferentes marcadores de composición corporal en respuesta a tres protocolos diferentes de entrenamiento (Benito et al., 2013)	24
Tabla 7. Variables fisiológicas analizadas en el estudio en respuesta a dos protocolos y en ambos géneros (Beckham y Earnest, 2000)	24
Tabla 8. Ejercicios y orden de ejecución en dos protocolos de entrenamiento diferentes (Da Silva et al., 2010)	25
Tabla 9. Cambios en diferentes variables referenciales a la composición corporal en los tres grupos realizados en el protocolo (Mazini Filho et al., 2017)	27
Tabla 10. Programación llevada a cabo por Skidmore et al. (2012)	28
Tabla 11. Distribución de las variables de programación y selección de ejercicios en los dos protocolos de entrenamiento (Benito et al., 2016)	30
Tabla 12. Resultados del estudio llevado a cabo por Monteiro et al. (2008) en diferentes variables	30
Tabla 13. Programación periodizadando los intervalos de descanso y de trabajo así como el número de series (Harber et al., 2014)	32
Tabla 14. Variables de programación que componen el procolo de entrenamiento con sobrecargas y aeróbico propuesto por Kang et al. (2011)	39
Tabla 14. Resultado del protocolo en diversos marcadores de la composición corporal (Kang et al., 2011)	39
Tabla 15. Cambios en diversos marcadores antropométricos y fisiológicos en respuesta a dos protocolos de diferente orientación (Ahmadizad et al., 2007)	40
Tabla 16. Cambios en diversos marcadores de la función cognitiva en los dos grupos que realizaron un circuito con sobrecargas propuesto por Gmiat et al. (2017)	41
Ilustración 1. Variables de programación según Bucheit y Laursen. (2013)	6

Ilustración 2. Cambios en la composición corporal en relación al porcentaje de grasa y en los valores del VO ₂ max después de la intervención (Smith et al., 2013)	14
Ilustración 3. Cambios en la fuerza (5RM) y en la composición corporal (% de grasa) después del protocolo de 16 semanas de duración (Serafini et al., 2016)	15
Ilustración 4. Cambio en dos variables relacionadas con la composición corporal (circunferencia de la cintura y porcentaje de grasa) en respuesta a cada tipología de protocolo (Paoli et al., 2010)	19
Ilustración 5. Cambios en el ejercicio en respuesta a un circuito ejecutado con diferentes tiempos de descanso entre series (Haltom et al., 1999)	20
Ilustración 6. Resumen del protocolo propuesto por Sperlich et al. (2017)	21
Ilustración 7. Explicación del protocolo propuesto por Benito et al. (2016)	22
Ilustración 7. Energía gastada en respuesta a los tres protocolos realizados en mujeres y hombres (Benito et al., 2016)	23
Ilustración 8. Respuesta del volumen de oxígeno a lo largo del tiempo en los dos protocolos (Da Silva et al., 2010)	26
Ilustración 9. RPE en respuesta a tres protocolos de entrenamiento en tres puntos temporales de medición (Skidmore et al., 2012)	29
Ilustración 10. Correlaciones entre la RPE y los niveles de lactato en los dos protocolos del estudio llevado a cabo por Aniceto et al. (2015)	31
Ilustración 11. Cambios en los diferentes tipos fibrilares en respuesta al protocolo de circuito con sobrecargas en dos test temporales (Harber et al., 2014)	32
Ilustración 12. Cambios en los valores de testosterona y ratio testosterona/cortisol en los diferentes test (Harber et al., 2014)	33
Ilustración 13. Cambios en los niveles de lactato en respuesta al protocolo de entrenamiento con sobrecargas propuesto en el estudio (Harber et al., 2014)	34
Ilustración 14. Explicación del protocolo desarrollado por Arenas et al. (2013)	35
Ilustración 15. Cambios en el peak torque en diferentes grupos musculares en el estudio llevado a cabo por Arenas et al. (2013)	35
Ilustración 16. Cambios en los marcadores de la síntesis ósea en el experimento llevado a cabo por Almstedt et al. (2016)	37
Ilustración 17. Cambios en la glucosa e insulina en el área debajo de la curva después del protocolo propuesto por Dunstan et al. (1998)	38
Ilustración 18. Resultados en el índice de resistencia a la insulina y adiponectina en respuesta a los dos protocolos de entrenamiento (Ahmadizad et al., 2007)	40
Ilustración 19. Cambios en los diferentes marcadores de la presión arterial determinados en el protocolo (Gauche et al., 2017)	42

Indice

1- Resumen	6
2- Introducción	7
3- Objetivos y competencias	10
3.1- Objetivos principales:	10
3.2- Objetivos secundarios:	10
3.3- Competencias generales	11
3.4- Competencias específicas	12
4- Metodología	13
4.1- Proceso de selección de la información	14
5- Marco teórico y revisión bibliográfica	15
5.1- Cambios fisiológicos en respuesta al circuit weight training	19
5.1.1- Cambios en la composición corporal	19
5.1.2- Cambios en los valores funcionales	30
5.1.3- Efectos sobre biomarcadores fisiológicos de salud	40
6- Síntesis final	45
6.1- Perspectiva de futuro	47
6.2- Valoración personal y reflexión crítica	47
7- Bibliografía	48

1- Resumen

La mayoría de usuarios de un centro deportivo buscan la mejora de la salud así como de la estética corporal y del rendimiento. Uno de los protocolos más extendidos para la consecución de dichos objetivos en la actualidad es el entrenamiento interválico de alta intensidad. Una variación relativamente nueva de este tipo de entrenamiento es el circuito con sobrecarga o circuit weight training, en el que un conjunto de estaciones focalizadas en el trabajo con sobrecargas se suceden con un mínimo descanso entre ellas. En los últimos años y con el crecimiento en popularidad del entrenamiento de alta intensidad, este tipo de entrenamientos están más en boga que nunca por su versatilidad en la implementación y por la optimización del tiempo de trabajo. Los diferentes estudios muestran mejoras en la composición corporal así como en marcadores fisiológicos y de salud, por lo que se muestran como protocolos orientados al trabajo de un grueso poblacional amplio con muchas ventajas aunque no exentos de ciertos inconvenientes dependiendo de la organización de las diferentes variables de programación.

Palabras clave castellano

Entrenamiento en circuito, entrenamiento en circuito de alta intensidad, entrenamiento en circuito funcional, entrenamiento en circuito de fuerza.

Palabras clave inglés

Circuit training, high intensity circuit training, functional circuit training, circuit weight training

2- Introducción

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT) consiste en un ejercicio físico que se caracteriza por estar compuesto por series breves e intermitentes de actividad vigorosa, intercaladas con períodos de descanso o ejercicios de baja intensidad (Buchheit y Laursen, 2013; Fader, 2013; Gibala, Little, MacDonald y Hawley, 2012; Gibala y Jones, 2013). El entrenamiento de intervalos fue descrito por primera vez por Reindell y Roskamm y fue popularizado en la década de 1950 a través de las hazañas del reconocido atleta Olímpico, Emil Zatopek (Billat, 2001), pero ya en la década de los años 20 era utilizado por Paavo Nurmi, uno de los mejores corredores de media y larga distancia del mundo (Buchheit y Laursen, 2013). La investigación científica acerca de este tipo de protocolos tuvo como pionero a Hill en la década de los años 20, quien introdujo ejercicios intermitentes en sus primeros estudios. Astrand y su equipo de trabajo publicaron trabajos clásicos en los años 60 sobre las respuestas fisiológicas agudas al HIT, creando las primeras bases científicas a los intervalos de larga y corta duración. Estudios llevados a cabo por Balsom y colaboradores siguieron en los años 1990 enfatizando todo tipo de esfuerzos, como por ejemplo los efectos en la disponibilidad de glucógeno en la performance y en las adaptaciones a nivel metabólico y fisiológico en respuesta a un ejercicio intermitente de alta intensidad (Balsom, Gaitanos, Söderlund y Ekblom, 1999). La mayoría de trabajos científicos subsiguientes han sido una extensión de previos hallazgos utilizando nueva tecnología de campo (Buchheit y Laursen, 2013). Dentro de la bibliografía anglosajona se reportan diferentes protocolos y definiciones sobre el HIT. Así pues, podemos encontrar denominaciones tales como HIIT (high intensity intermittent training), HIT (high intensity training), HIIT (high intensity interval training), HIE (high intensity exercise), sprint interval training (SIT), HIT de intervalos cortos, HIT de intervalos largos refiriéndose a protocolos con muchas variables de programación que intervienen para la confección de los mismos (Añón, 2013).

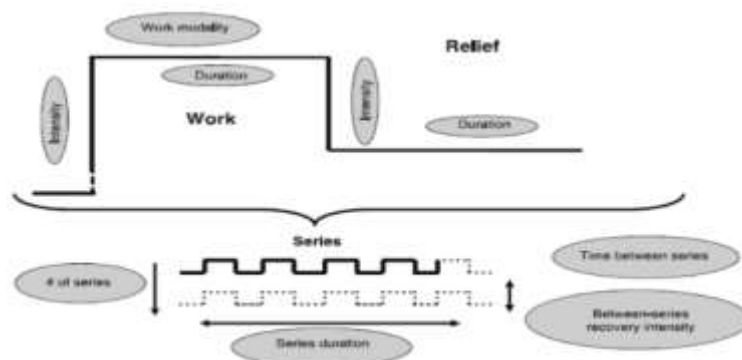


Ilustración 1. Variables de programación según Bucheit y Laursen. (2013)

Según Chicharro (2017), “aunque habitualmente nos referimos al entrenamiento interválico de alta intensidad como HIIT o HIT, en realidad es un término que afecta a más modalidades de entrenamiento. Así, el HIIT se refiere al entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad, mientras que existen otras modalidades de entrenamiento interválicas de alta intensidad referidas al metabolismo glucolítico o a la fuerza muscular”. En referencia a estos últimos protocolos y en contraste con el tradicional HIIT basado en el trabajo de resistencia en cicloergómetros u otros implementos, cabe destacar que en la actualidad una nueva variación también llamada entrenamiento funcional está a la orden del día en los gimnasios y centros de entrenamiento y cada vez son más los practicantes a nivel mundial que abandonan la práctica de un entrenamiento analítico clásico vestigio del culturismo con un objetivo plenamente estético y se suman a este emergente entrenamiento “funcional”; y con más fuerza aun, a los entrenamientos funcionales de alta intensidad (Viedma, 2014). Por otro lado, cabe destacar que estas nuevas propuestas que están incidiendo con enorme fuerza en la actualidad y se centran en movimientos multiplanares e integrados que implican la aceleración conjunta, estabilización y desaceleración así como la fuerza de la zona media y la eficiencia neuromuscular no están exentas de polémica entre diferentes especialistas del entrenamiento por su deficiencia en aspectos de higiene postural así como una falta de aplicabilidad técnica al nivel del sujeto en base a una mala selección de los ejercicios y progresiones de aprendizaje (Heredia, Isidro, Chulvi y Mata, 2011). Estos protocolos, que suelen ser entrenamientos de tipo circuito, incorporan estaciones de alta intensidad multiestimulantes semejantes al circuito tradicional (CircuitHIIT) y cada vez atrae más el interés de los entusiastas del fitness (Sperlich et al., 2017). En estos programas, el deportista va rotando entre los diferentes ejercicios con bajo tiempo de recuperación y un intervalo de ejecución variable que por lo general ronda los 30 segundos (Boyle, 2010). Utilizan una resistencia externa como sobrecarga, adquiriendo la denominación de entrenamiento interválico con sobrecarga de alta intensidad (HIRT) o se aplican con el propio peso corporal. Esta última opción se puede llevar a cabo en cualquier lugar, no necesariamente en el gimnasio (Gmiat et al., 2017). Este tipo de protocolos multimodales utilizan gran variedad de materiales, el peso corporal o modalidades tradicionales de acondicionamiento realizado en un circuito continuo o en formato interválico (Buckley et al., 2015).

Algunos investigadores sugieren que un circuito basado en ejercicios contra resistencia y de endurance debería ser preferencial al llevar a cabo las dos modalidades como único tipo de ejercicio (Paoli et al., 2013). A su vez, recientes estudios sugieren que cuanto más intensidad conlleve el ejercicio, mayor será el aumento en la capacidad aeróbica y fitness (Swain, 2005). Esta mezcla de utilización de energía aeróbica y anaeróbica a través del entrenamiento en

circuito produce buenos resultados relacionados con la reducción de grasa corporal, condición física, mejora de la capacidad funcional y de diferentes biomarcadores asociados con la salud. Si además los ejercicios del circuito son realizados en todo su rango de movimiento parece ser que se mejora la flexibilidad y movilidad articular, factor importante para las tareas diarias y que se van deteriorando con la edad (Romero-Arenas, Pérez-Gómez y Alzaraz., 2011). Desde que fuera propuesto por Morgan y Adamson, han sido muchos los estudios que han avalado su eficacia. El entrenamiento en circuito permite aumentar el área de sección transversal del músculo en las fibras tipo IIA y tiende a mejorar la cantidad de masa muscular en personas sedentarias en tan solo 10 semanas (Harber, Fry, Rubin, Smith y Weiss, 2004). El aumento de masa muscular es vital en sujetos de edad avanzada y se correlaciona en gran medida con el aumento de la fuerza (Trezise, Collier y Blazevich, 2016), y este tipo de protocolos da buenos resultados en relación a esta capacidad este grupo poblacional (Buch et al., 2017). Si tenemos en cuenta que la masa muscular se correlaciona con el gasto metabólico basal (Melby, Scholl, Edwards y Bullough, 1993), entonces el gasto energético es mayor, lo que puede ser de ayuda para reducir el peso corporal, si la reducción en el peso es de un 10% se mejoran los factores de riesgo metabólico y de diagnóstico de obesidad. También diversos estudios han demostrado la efectividad de este tipo de protocolos para aumentar el consumo máximo de oxígeno y la ventilación pulmonar máxima (Romero-Arenas, 2014).

Uno de los inconvenientes que presenta este tipo de protocolos son las relativamente bajas intensidades que utilizan (45-60% de 1 RM), lo que parece ser insuficiente para provocar un estrés mecánico apropiado que estimule la densidad mineral ósea. Además, con el aumento de la intensidad del ejercicio, el disfrute disminuye y las demandas excesivas impuestas por este tipo de protocolos se han propuesto como elementos que disminuyen la motivación intrínseca y desalientan la adhesión futura al ejercicio físico (Sperlich et al., 2017).

Por otro lado, es importante realizar una buena programación de las variables de entrenamiento, combinando los hemisferios superior e inferior y establecer intensidades óptimas adecuadas al nivel del sujeto. También hay que tener en cuenta el volumen total o las veces que se repite el circuito, que por lo general no suele superar los 20-30 minutos al día (Becerro, 2013).

3- Objetivos y competencias

3.1- Objetivos principales:

- Visualizar el estado actual del entrenamiento interválico de alta intensidad con sobrecargas en relación a la producción científica así como su popularidad actual.
- Determinar los protocolos empleados con más frecuencia en los estudios científicos.
- Visualizar las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento en circuito con sobrecargas.
- Generar una serie de conclusiones que aporten una aplicabilidad práctica en referencia a la temática tratada.

3.2- Objetivos secundarios:

- Posibilitar extrapolar ciertos protocolos a mi trabajo como entrenador personal.
- Posibilitar determinadas tecnologías de cuantificación del esfuerzo de los diferentes protocolos de alta intensidad extrapolables al trabajo diario.
- Evaluar las variables de programación y su interconexión en este tipo de protocolos para poder programar entrenamientos más efectivos y seguros.

3.3- Competencias generales

CG01	<i>Ejercer a nivel profesional en el ámbito del deporte de rendimiento, manifestando elevada competencia, autonomía y conocimiento científico especializado.</i>
El trabajo elaborado me ha ayudado a alcanzar esta competencia a través de un análisis de la documentación científica presente sobre el entrenamiento interválico de alta intensidad, pudiendo aplicar los diferentes conocimientos adquiridos al entrenamiento personal y darle bases científicas de alta calidad a mi trabajo.	

CG02	<i>Aplicar las más novedosas metodologías de entrenamiento de manera sistemática y adaptada a las necesidades de un deportista/grupo, programando actividades de preparación en función de las particularidades y requerimientos de una disciplina deportiva concreta.</i>
El trabajo realizado me ha aportado una visión detallada de las diferentes formas de aplicación de una metodología concreta basada en circuitos con sobrecargas de alta intensidad en diferentes grupos poblacionales, aportándome diferentes herramientas para poder individualizar los protocolos y adaptarlos óptimamente.	

CG03	<i>Diseñar y llevar a cabo procesos sistemáticos y rigurosos de análisis del rendimiento, en situaciones de entrenamiento y competición, orientados a la valoración de las capacidades físicas, las habilidades y el desempeño técnico-táctico.</i>
A través de la actual revisión bibliográfica ha podido obtener diferentes herramientas de frecuente uso en la monitorización del entrenamiento interválico que podrá adaptar a mi empleo como entrenador personal, así como diferentes métodos de valoración de las capacidades físicas de los sujetos que participan en los protocolos y que muestran adaptaciones fisiológicas a estos protocolos de gran validez a la hora de programar entrenamientos.	

CG04	<i>Cuantificar y controlar cargas de entrenamiento y competición, como base para planificar de manera científica los estímulos de preparación y programas de ejercicio encaminados a la mejora del rendimiento.</i>
A través de la actual revisión he podido visualizar diferentes protocolos con multitud de variables de programación que producen diferentes respuestas fisiológicas, algo que tendrá cabida en mi trabajo para la planificación de protocolos con diferentes cargas de trabajo y poder optimizar las respuestas que busco en mis clientes dependiendo de sus objetivos generales así como de sus requerimientos específicos.	

3.4- Competencias específicas

CE01	<i>Identificar las posibilidades actuales y potencialidades futuras del mercado laboral vinculado con el deporte de rendimiento, así como los factores que influyen en el proceso de inserción laboral, para dirigir estratégicamente la formación, cualificación y el desarrollo profesional.</i>
El presente trabajo me ha ayudado a comprender una metodología muy utilizada en la actualidad así como darme cuenta de las necesidades reales de diferentes grupos poblacionales. Realizar trabajos con gran sustentación científica me ayuda a llevar a cabo mi trabajo de forma óptima y poder crecer como profesional en el sector.	
CE02	<i>Analizar críticamente las fortalezas y debilidades personales, y su influencia en el proceso de inserción en el mercado laboral y en el desempeño profesional.</i>
La realización del TFM me ha llevado a observar ciertas carencias en algunos temas específicos que son de importancia en mi trabajo y que requieren dedicación y estudio constante, impulsándome a continuar mi formación y darme cuenta de que quiero ser un profesional competente, realizando un trabajo de calidad, por lo que este tipo de trabajos de documentación científica amplia ayudan mucho en el crecimiento personal y en generar profesionales más cualificados.	
CE18	<i>Interpretar los resultados de los test, así como de los informes resultantes de la valoración de la condición física, para su utilización en la programación del entrenamiento deportivo.</i>
A través de la revisión realizada he tenido que interpretar diferentes resultados en referencia a los estudios descritos y realizar una contrastación para poder sacar conclusiones válidas extrapolables a mi trabajo.	
CE24	<i>Comprender y expresarse de forma escrita en lengua inglesa en contextos específicos relacionados con el entrenamiento y el rendimiento deportivo.</i>
La mayoría de estudios de alto impacto y de calidad se encuentran en lengua inglesa, por lo que es un requerimiento imprescindible la comprensión del idioma y de la terminología aplicada al entrenamiento y rendimiento deportivo.	

4- Metodología

Para la elaboración de la revisión bibliográfica se han utilizado varias bases de datos de referencia, así como libros de texto y artículos publicados en páginas web.

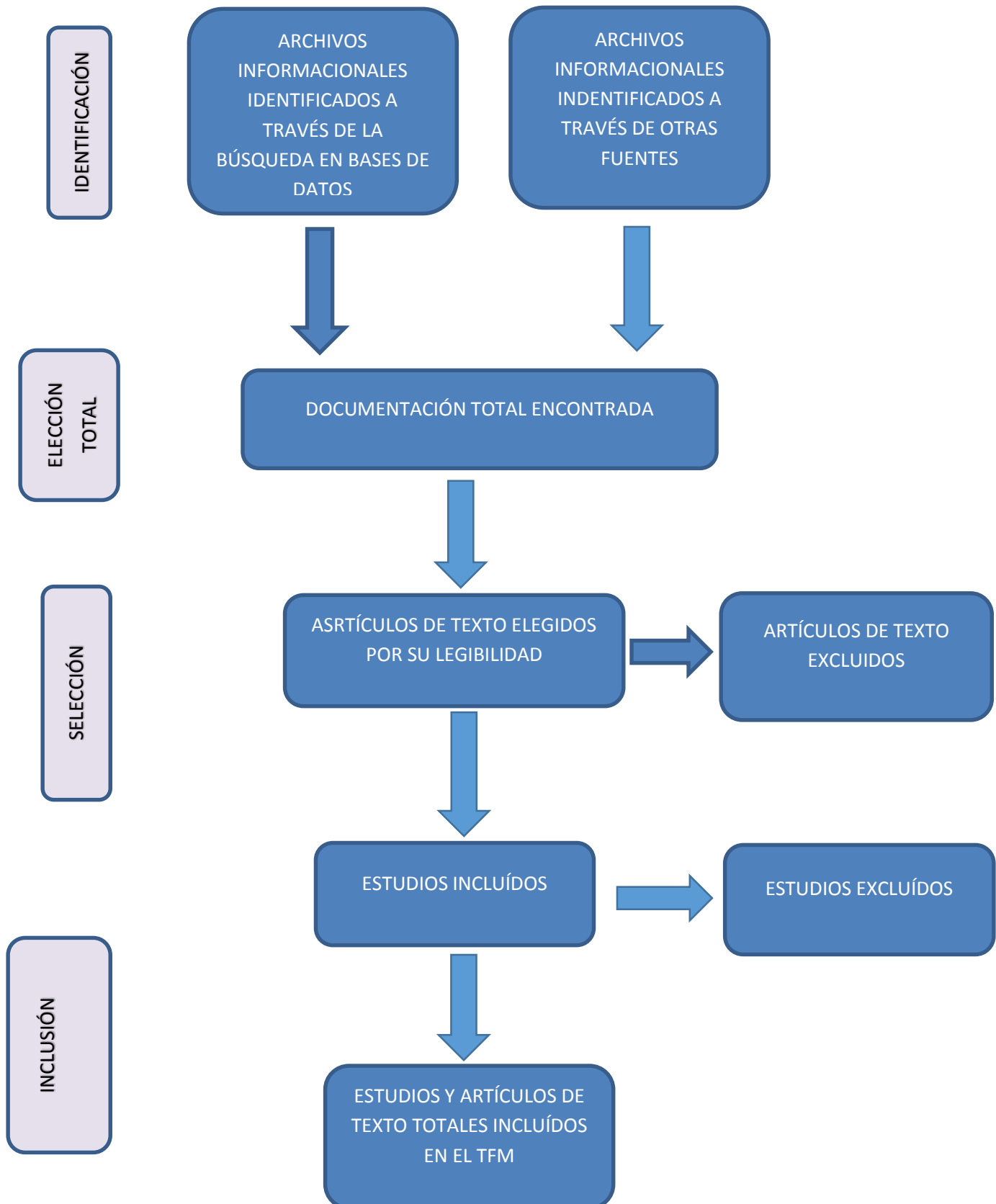
BASES DE DATOS UTILIZADAS
Scopus
SPORTDiscus
Google Scholar
PubMed
Dialnet
ResearchGate

Tabla 1. Bases de datos utilizadas para la búsqueda de información.

Se ha llevado a cabo la búsqueda introduciendo la combinación de palabras clave: “Circuit training”, “high intensity circuit training”, “functional circuit training”, “circuit weight training”. Se han evitado la utilización de filtros, escogiendo artículos clásicos y contemporáneos para poder visualizar la evolución metodológica y cómo los protocolos clásicos sufren ciertos cambios orientados a la optimización de los entrenamientos en la actualidad. Del grueso de artículos, muchos han quedado descartados por las siguientes razones:

- Dificultad con el idioma
- No es un trabajo original
- Texto completo no disponible
- Dificultad para comprender la metodología utilizada

4.1- Proceso de selección de la información



5- Marco teórico y revisión bibliográfica

El entrenamiento con sobrecarga en circuito (EC) se presenta como una modalidad de ejercicio desarrollada por Morgan y Adamson en la Universidad de Leeds, en la década de los 50s (Morgan y Adamson, 1959), exactamente en el año 1953 en Inglaterra (Kravitz, 1996). Se trata de un modelo de entrenamiento versátil, ya que puede ser adaptado a multitud de situaciones y diferentes poblaciones con diversos niveles de condición física o patologías. El objetivo primordial de este tipo de programa es mejorar la resistencia cardiovascular mediante el entrenamiento de fuerza, así como preparar el organismo para un esfuerzo más intenso, como se acostumbra hacer al inicio de la temporada de entrenamiento en diferentes deportes, llevando a cabo una adaptación anatómica de las diferentes estructuras y tejidos blandos a través de este método (Bompa y Cornacchia, 2002). El entrenamiento en circuito con sobrecargas permite a muchos individuos entrenar a la vez, reduciendo el tiempo cuando se compara con otras modalidades, y consiguiendo además adaptaciones similares (Malarvizhi, Reshmi, & Sivakumar, 2017; Romero-Arenas et al., 2011). En general, consiste en seleccionar un conjunto de ejercicios que trabajen todas las partes del cuerpo utilizando máquinas, mancuernas o barras. Los ejercicios suelen estar dispuestos en un patrón circular que pueden ser modificados en función del objetivo, la motivación o el nivel de los participantes. Se realiza una serie de cada ejercicio, uno a continuación del otro, de tal manera que una vez que se hayan realizado todas las estaciones se vuelve a empezar desde el principio hasta completar 30-40 min de entrenamiento o 1-3 repeticiones del circuito. Los descansos entre series son cortos (15-30 s) (Da Silva, Brentano y Kruel, 2010; Romero-Arenas et al., 2011; Tesch, 1992). Lo más significativo es que se reducen o eliminan los tiempos de descanso entre los ejercicios y se realizan ejercicios alternos que impliquen grandes grupos musculares y varias articulaciones (Skidmore, Jones, Blegen, y Matthews, 2012). La eficiencia de este tipo de entrenamiento creció en popularidad durante los años 70 y se expandió debido a los avances en la equipación por los Estado Unidos. "El término circuito se refiere actualmente a una colección de estaciones, cada una de las cuales corresponde a un área, máquina específica o peso con los cuales se ha de ejecutar un ejercicio durante un tiempo concreto o con un cierto número de repeticiones. Las estaciones sucesivas requieren emplear unas máquinas de resistencia, bicicletas, minitramps, combas, barra de pesas o ejercicios libres como fondos, sentadillas o saltos. El circuito moderno requiere que los deportistas o sujetos que participen se muevan con rapidez siguiendo un orden estipulado de una estación a otra a través de un circuito y repitan cierto número establecido de repeticiones, siendo su intención desarrollar la fuerza, la resistencia cardiovascular y la flexibilidad

muscular. Con frecuencia se emplea un sistema cronometrado con una alarma audible para indicar a los participantes cuando deben apresurarse a la siguiente estación. En otro sistema se prescribe cierto número de repeticiones para cada estación” (Stiff y Verkhoshansky, 2004). En este sentido, diversos investigadores han demostrado la efectividad del entrenamiento en circuito que se basa en un entrenamiento de fuerza en el que se utilizan por lo habitual resistencias bajas con un descanso mínimo, siendo eficaz para la mejora de diferentes variables como el consumo máximo de oxígeno, la ventilación pulmonar máxima, la capacidad funcional y la fuerza, al tiempo que mejora la composición corporal (Romero-Arenas, 2014). Este tipo de protocolos recibe diversas denominaciones a día de hoy dependiendo de la estructuración de las variables de programación, como high resistance-circuit training (HRC), power circuit training (PCT) o High Intensity Functional Training (HIFT) (Expósito, 2016; Serafini, Mimms, Smith, Kilszczewicz y Feito, 2016).

En relación a estos últimos protocolos denominados power circuit training (PCT) o HIPT (High Intensity Power Training) son los métodos en los que se fundamenta el Crossfit y, sin duda, uno de los más efectivos para perder peso en un entorno de déficit calórico (Marchante, 2015) como bien demostró un estudio llevado a cabo por Smith, Sommer, Starkoff, y Devor (2013) en el que un grupo compuesto por 23 hombres y 20 mujeres mejoraron sustancialmente el volumen de oxígeno máximo y experimentaron un descenso marcado en el porcentaje de grasa corporal a lo largo de 10 semanas de entrenamiento.

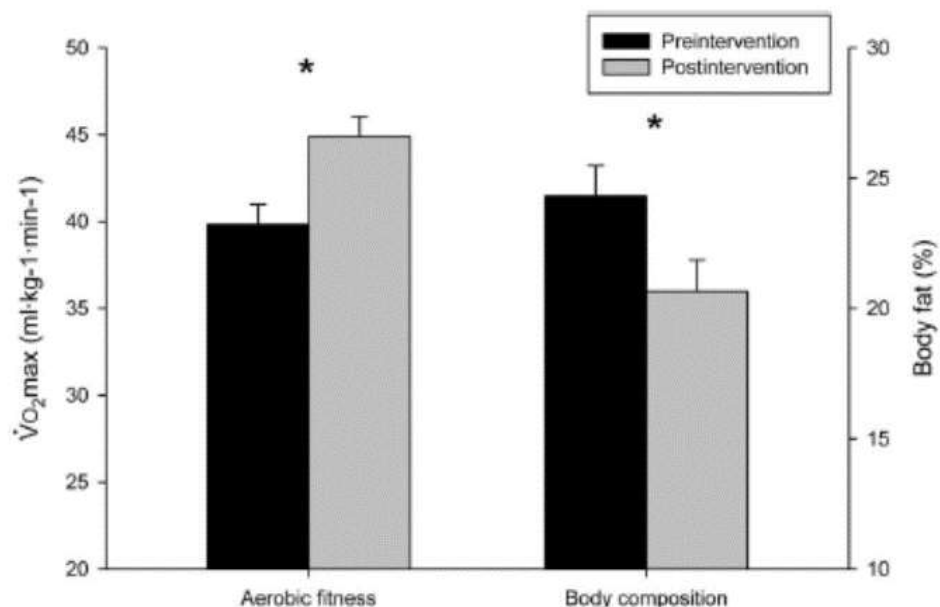


Ilustración 2. Cambios en la composición corporal en relación al porcentaje de grasa y en los valores del consumo de oxígeno máximo después de la intervención (Smith et al., 2013)

Este entrenamiento de potencia de alta intensidad (HIPT) puede también ofrecer una mejora de la condición aeróbica con una inversión de tiempo mínima en comparación con el entrenamiento aeróbico tradicional (Smith et al., 2013). Este tipo de protocolos se alejan de los tradicionales sistemas de entrenamiento contra resistencias e incluyen ejercicios de alta intensidad y una gran variación en los patrones de movimiento denominados “patrones funcionales”, que no dejan de ser ejercicios como sentadillas, pesos muertos o levantamientos olímpicos (Serafini et al., 2016). En otro estudio sobre este tipo de programas llevado a cabo por Serafini et al. (2016) en 26 hombres y mujeres con experiencia mínima en este tipo de protocolos realizaron 16 semanas de entrenamiento y mejoraron significativamente el porcentaje de grasa corporal y la fuerza en la prueba de sentadilla frontal a 5RM. Tampoco podemos olvidar el alto índice lesivo de este tipo de protocolos, alcanzando un ratio de lesión que se aproxima al 20 % y afectan a diferentes focos articulares, principalmente los hombros y la espalda baja (Weisenthal, Beck, Maloney, DeHaven y Giordano, 2014).

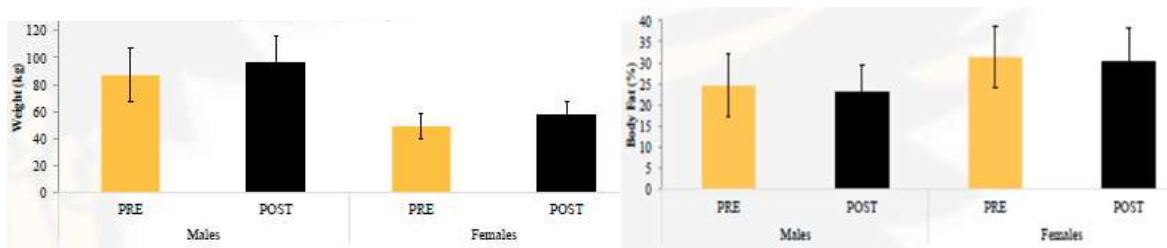


Ilustración 3. Cambios en la fuerza (5RM) y en la composición corporal (% de grasa) después del protocolo de 16 semanas de duración (Serafini et al., 2016)

Cabe decir también que el entrenamiento de fuerza en circuito es una modalidad de entrenamiento muy eficaz de la fuerza, pero que se aleja mucho de un entrenamiento de perfil oxidativo o aeróbico. “En los últimos meses estamos asistiendo a la distorsión de los conceptos fisiológicos ligados al entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT) utilizando esta denominación para protocolos que tienen que ver con la fuerza de alta intensidad, pero no con el HIIT. Por concepto, ningún entrenamiento de fuerza alcanzará los criterios de elevación de VO₂ para poder ser considerado un verdadero HIIT” (Chicharro, 2017).

Según Stiff y Verkhoshansky (2004), el entrenamiento en circuito consta de dos categorías primarias y una mixta:

- 1- Entrenamiento en circuito continuo (ECC), que consta de:
 - 1- Entrenamiento en circuito continuo sin resistencia (ECCSR)
 - 2- Entrenamiento en circuito continuo resistido (ECCR)

- 3- Entrenamiento en circuito continuo (ECC) combinado (resistido y sin resistencia)
- 2- Entrenamiento en circuito con intervalos (ECI), que consta de:
 - 1- Entrenamiento en circuito con intervalos sin resistencia (ECISR)
 - 2- Entrenamiento en circuito con intervalos resistido (ECIR)
 - 3- Entrenamiento en circuito con intervalos (ECI) combinado (resistido y sin resistencia).
 - 4- Entrenamiento en circuito mixto (ECM)

“En contraste con el entrenamiento continuo, que solo tiene 2 componentes principales a controlar: intensidad y duración; el entrenamiento interválico tiene 4 componentes en cada uno de sus intervalos o repeticiones: intensidad, duración, intensidad de recuperación y duración de la recuperación. El número de intervalos (serie) en una sesión es lo que determina la duración total del entrenamiento, constituyendo una variable más. Así también hemos de considerar otros 4 componentes: n° de series, duración e intensidad del periodo entre series, y la modalidad de recuperación (activa o pasiva) entre series. Por lo tanto, en el diseño de una sesión de interval training tendremos 8 decisiones que tomar, algo que per se complica bastante la estructura del programa” (Chicharro, 2014).

5.1- Cambios fisiológicos en respuesta al circuit weight training

5.1.1- Cambios en la composición corporal

Los entrenamientos en circuito probablemente constituyan a nivel general la mejor alternativa para alcanzar adaptaciones fisiológicas globales que mejoran la capacidad funcional y la composición corporal en personas que no buscan rendimiento específico en fuerza o resistencia aeróbica (Chicharro, 2017). Diversos estudios han demostrado la efectividad del entrenamiento en circuito para modificar la composición corporal (Ahmadizad, Haghghi y Hamedinia 2007; Bocalini et al. 2012; Fett, Fett, y Marchini 2009). Este tipo de protocolos son muy utilizados como complemento a los tratamientos hipocalóricos en la pérdida de peso, con interesantes resultados con pacientes con sobrepeso u obesidad (Benito et al. 2011). Los entrenamientos con sobrecargas en circuito implican características metabólicas mixtas y producen buenos resultados respecto a la disminución de la grasa corporal (Fett et al. 2009).

Bocalini et al. (2012) estudiaron el efecto de un entrenamiento en circuito (EC) en un grupo de 70 mujeres mayores (más de 60 años) durante 12 semanas. El protocolo duró 50 minutos, 3 veces a la semana al 70% del trabajo monitorizado con pulsómetro. Cada ejercicio se realizó durante 45 segundos usando bandas elásticas y pesos libres. El tiempo de las contracciones fue de 5 segundos (exc+conc) y descanso de 40 segundos entre ejercicios. Los resultados mostraron una reducción del peso corporal, el porcentaje de grasa, la masa grasa y el índice de masa corporal. Las reducciones dependieron del estado inicial del sujeto, siendo la reducción de la masa grasa un 4,6%, 11% y 21,4% para participantes con un peso normal, sobrepeso y obesos, respectivamente. Otro estudio anterior llevado a cabo por Fett et al. (2009) utilizó un grupo de 50 mujeres (sólo 26 terminaron el estudio) que se dividieron de forma aleatoria en dos subgrupos, uno realizó entrenamiento de fuerza en circuito y otro jogging. El entrenamiento consistió en 1h por sesión (45 min de actividad y 15 min divididos en calentamiento y enfriamiento), con tres sesiones por semana durante el primer mes (180 min/sem), y 4 sesiones durante el segundo (240 min/sem) para ambos grupos. Los entrenamientos contra resistencia consistían en 15 estaciones de entrenamiento de pesos en circuito para todos los principales grupos musculares con 30 segundos de ejecución (10 a 20 repeticiones por ejercicio) y alternados con 30 segundos de caminata o jogging. El número máximo de repeticiones, que aumentó con el acondicionamiento, se ejecutó para mantener la intensidad que cada individuo era capaz de alcanzar en la variación anteriormente mencionada. Las estaciones eran dispuestas en círculo en una sala de 10 x 15 m, con tatamis

en el suelo. La masa total corporal, IMC, grasa corporal porcentual por antropometría, grasa corporal porcentual por análisis de impedancia bioeléctrica y grasa corporal estaban significativamente reducidos en ambos grupos; la relación cintura-cadera (RCC) estaba significativamente reducida en el grupo que realizó jogging. La masa magra no reveló diferencia entre los grupos y no hubo diferencias entre los dos grupos significativas.

Variables	ER			JOGG		
	T1	T2	Δ	T1	T2	Δ
Antropometría						
Masa corporal (kg)	89±20	84±18‡	-5±4	75±11*	70±11‡	-5±2
IMC (kg/m ²)	32±7	31±7‡	-1±0,4	29±2	26±1‡	-3±0,2
% Masa gorda	44±6	38±7‡	-6±1	40±5	33±5‡	-7±1
Razón cintura/cadera	0,93±0,10	0,92±0,08	-0,00±0,0	0,88±0,06	0,87±0,07*	-0,02±0,2
Biomedancia						
Masa magra (kg)	53±5	52±5	-1±0,5	46±7*	45±7	-1±0,5
Masa gorda (kg)	45±15	41±15‡	-4±2	28±8*	24±8‡	-4±2
% Masa gorda	45±6	43±6‡	-2±0,5	38±2‡	34±3‡	-3±4

Promedios±DE. Comparaciones en cada grupo fueron T1xT2; entre grupos fueron T1xT1 y Δ=T2-T1, efectos significantes con *p<0,05; †p<0,01; ‡p<0,001; IMC=índice de masa corporal.

Tabla 2. Resultados en las diferentes variables relacionadas con la composición corporal en los dos grupos (ER y JOGG) y en los dos puntos temporales de medición (T1 y T2) (Fett et al., 2009)

Ahmadizad et al. (2007) encontraron una reducción del porcentaje de grasa (-4.5%) en 24 sujetos obesos y sedentarios que fueron asignados a uno de tres grupos, un grupo realizó entrenamiento de resistencia, otro grupo entrenó en circuito y otro fue control. El protocolo duró 12 semanas y el entrenamiento contra resistencia consistió en 50-60' de trabajo en circuito por día realizado 3 días a la semana durante 12 semanas. Se ejecutaron 11 estaciones con formato circular, incluyendo 4 series de 12 RM al 50-60% de 1RM en cada estación. Cada ejercicio y serie fue separada 30 segundos. Takeshima et al (2004) estudiaron los efectos de un entrenamiento en circuito acomodado en 35 sujetos sedentarios. Realizaron un protocolo a lo largo de 12 semanas y de 50' por sesión. El circuito consistió en 12 estaciones individuales destinadas a trabajar la mayoría de músculos del cuerpo. Los ejercicios contra resistencia duraron 30' y se intercalaron con 30' de ejercicio de tipo aeróbico. Los resultados indicaron una disminución del 16% de la masa grasa. En otro estudio llevado a cabo por Paoli et al. (2010) quisieron determinar los cambios que se producen en la composición corporal, la fuerza y el lactato. Se llevó a cabo con 40 participantes que fueron asignados a un grupo control o a uno de tres grupos que realizaban protocolos diferentes. Uno realizó un entrenamiento de resistencia en cinta. La intensidad fue mantenida al 65% de la frecuencia cardíaca máxima y la percepción relativa del esfuerzo mantenida entre 11 y 13. Cuando la frecuencia cardíaca era menor al 60% de la estimada y la respuesta de la percepción del esfuerzo menor a 11 la

intensidad de la actividad era incrementada hasta cumplimentar los criterios. La duración inicial eran 30 minutos pero aumentaba 3 minutos semanales hasta alcanzar 40 minutos. Otro grupo realizaba un entrenamiento en circuito de baja intensidad ejecutando 3 series de 15 repeticiones máximas con 60" de recuperación. Un tercer grupo realizó 3 series por estación ejecutando una técnica de descanso pausa en la que se ejecutaban 6 RM, después un descanso de 20 segundos, después 2 RM, otro descanso de 20 segundos y finalmente 1 RM. Cabe decir que en los últimos dos protocolos se intercalaba una serie de flexión abdominal después de cada ejercicio.

EG				CLG				CHG			
Exercise	Sets or time	Reps or % FC	Rec	Exercise	Sets or time	Reps or % FC	Rec	Exercise	Sets or time	Reps or % FC	Rec
Treadmill	40'	65%		Treadmill	8'	65%		Treadmill	1T*		
Crunch	4	20	60"	Lat pulldown	3	15	60"	Lat pulldown	3	RP†	60"
				Crunch	1	20	0"	Crunch	1	20	0"
				Chest press	3	15	60"	Chest press	3	RP	60"
				Crunch	1	20	0"	Crunch	1	20	0"
				Lateral shoulder raise	3	15	60"	Lateral shoulder raise	3	RP	60"
				Crunch	1	20	0"	Crunch	1	20	0"
				Horizontal leg press	3	15	60"	Horizontal leg press	3	RP	60"
				Crunch	1	20	0"	Crunch	1	20	0"
				REPEAT				REPEAT			

Tabla3. Variables de programación asociadas a cada protocolo de entrenamiento (Paoli et al., 2010)

La composición corporal se evaluó a través de la toma de 10 pliegues cutáneos, 6 circunferencias óseas, 4 diámetros óseos y medición de la cintura. Los resultados demostraron un gran descenso de la grasa corporal en el grupo de participantes que entrenó con cargas altas, que los autores atribuyen a un aumento del exceso de oxígeno consumido postejercicio (EPOC).

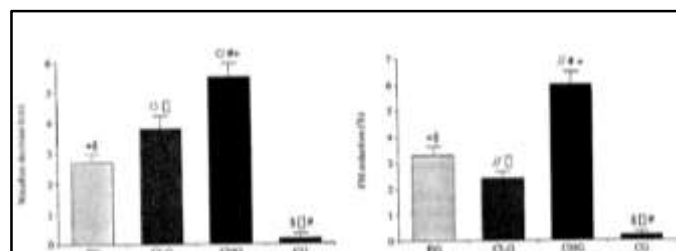


Ilustración 4. Cambio en dos variables relacionadas con la composición corporal (circunferencia de la cintura y porcentaje de grasa) en respuesta a cada tipología de protocolo (Paoli et al., 2010)

Este tipo de actividades físicas de carácter intermitente promueven incrementos en el coste energético total de forma aguda y crónica. La primera condición se refiere al coste energético propio durante la realización del ejercicio y durante la fase recuperatoria, mientras que la segunda se refiere a la alteración del ratio metabólico de descanso. Está bien establecido que el consumo de O₂ postejercicio vuelve inmediatamente a los valores de reposo. Esta demanda energética durante la recuperación postejercicio se conoce como exceso de

consumo de oxígeno postejercicio o EPOC. El EPOC se constituye de dos componentes, uno rápido que ocurre dentro de la primera hora y uno extenso que se alarga varias horas. Durante el componente extenso, los procesos fisiológicos de la homeostasis retornan a sus valores normales continuamente, sin embargo, en un nivel mucho más bajo. Diversos autores han considerado el EPOC como un factor importante en el control del peso, una vez que el ejercicio requiere energía adicional aparte de la que se espera en la actividad física (Foureaux, Pinto, Kelerson Mauro de Castro, y Dâmaso, 2006). Los estudios que compararon el entrenamiento aróbico con el entrenamiento contra resistencias enfatizaron que el segundo probablemente causa una mayor alteración en la homeostasis que la actividad aeróbica sugiriendo que debido a las altas intensidades involucradas requieren un mayor coste energético durante el ejercicio y la recuperación. Dos factores han sido atribuidos al hecho de que el entrenamiento contra resistencias produce un mayor EPOC. El primer factor se refiere a la respuesta hormonal que puede alterar el metabolismo, especialmente las catecolaminas, el cortisol y la GH. El segundo se refiere al daño tisular seguido del estímulo para la hipertrofia del tejido desde que la síntesis proteica desciende durante el ejercicio. Sin embargo, después del ejercicio hay un fenómeno compensatorio en el que el turnover proteico parece ser estimulado (Schoenfeld, 2010). Además de esto, la síntesis proteica requiere una alta demanda energética. Este mecanismo puede contribuir a una larga estimulación del coste energético después del ejercicio (Foureaux et al., 2006). En un estudio llevado a cabo por Haltom et al. (1999) investigaron el efecto del tiempo de descanso entre series en el EPOC en un entrenamiento en circuito durante 1 hora dividiendo una muestra de 7 sujetos en dos grupos, uno ejecutaba una sesión de entrenamiento contra resistencias usando 20 segundos entre series y otro grupo descansaba 60 segundos. El protocolo se basó en dos circuitos de 16 estaciones, ejecutando 20 repeticiones en cada estación a una intensidad del 75 % del máximo peso estipulado para realizar tal número de repeticiones. Los resultados demostraron que cuando los descansos son breves, en este caso 20 segundos entre series en un típico circuito contra resistencias genera un aumento del EPOC en la primera hora de recuperación mayor que el mismo protocolo con descansos más largos.

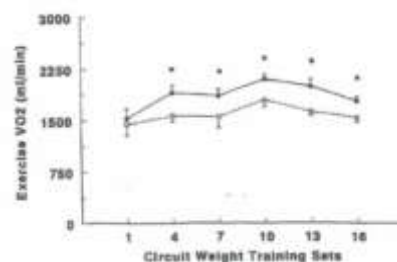


Ilustración 5. Cambios en el VO₂ durante el ejercicio en respuesta a un circuito con sobrecargas ejecutado con diferentes tiempos de descanso entre series (Haltom et al., 1999)

Un interesante estudio llevado a cabo por Sperlich et al. (2017) comparó dos protocolos aplicados a un grupo de 22 mujeres con sobrepeso que fueron divididas aleatoriamente en dos grupos, uno basado en un circuito HIIT y otro combinó parte del trabajo estilo circuito HIIT y otra parte del trabajo fue continuo de alto volumen y baja intensidad (Circuit combined) . En la imagen inferior se muestra el diseño del programa de forma detallada.

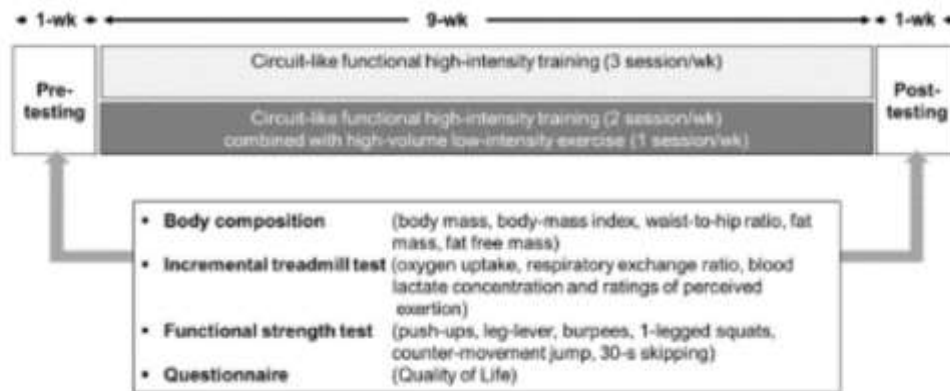


Ilustración 6. Resumen del protocolo propuesto por Sperlich et al. (2017)

Ambas intervenciones disminuyeron la masa corporal, índice de masa corporal, relación cintura-cadera, masa grasa y mejora de la masa libre de grasa así como variables seleccionadas de la fuerza funcional y ciertas dimensiones de la calidad de vida en mujeres con sobrepeso en igual medida. El circuito HIIT mejoró la absorción máxima de oxígeno en mayor medida pero con mayor percepción de dolor. La mayor respuesta del VO2 pico en protocolos de alta intensidad explica estos resultados, generando adaptaciones centrales, aumentando el volumen plasmático y sanguíneo con un volumen sistólico elevado. El circuito combinado parece mejorar más la percepción en la salud general en mayor medida que el otro protocolo.

Parameter	Intervention	Before	After	$p(T)/p(T \times G)$	$\eta_p^2(T)/\eta_p^2(T \times G)$	F	Mean effect ^a ± 90% CI ^b	Qualitative inference
Body mass [kg]	Circuit _{HIIT}	79.7 ± 7.5	77.7 ± 8.2	0.02*	0.243	6.41	-2.0 ± 2.1	Likely positive
	Circuit _{combined}	83.0 ± 10.5	82.5 ± 11.0	0.121	0.116	2.62		
Body mass index [kg·m ⁻²]	Circuit _{HIIT}	28.1 ± 2.7	27.3 ± 2.8	0.015*	0.263	7.12	-2.0 ± 2.1	Likely positive
	Circuit _{combined}	28.3 ± 3.3	28.1 ± 3.2	0.124	0.114	2.58		
Waist-to-hip ratio	Circuit _{HIIT}	0.80 ± 0.06	0.75 ± 0.05	0.003**	0.359	11.2	-5.1 ± 4.6	Unclear
	Circuit _{combined}	0.79 ± 0.03	0.78 ± 0.04	0.340	0.046	0.956		
Fat mass [kg]	Circuit _{HIIT}	40.0 ± 4.9	38.1 ± 5.6	0.002**	0.401	13.4	-2.5 ± 3.9	Likely positive
	Circuit _{combined}	40.2 ± 4.8	39.2 ± 5.6	0.240	0.068	1.47		
Fat free mass [%]	Circuit _{HIIT}	26.5 ± 2.4	27.4 ± 2.6	0.003**	0.359	11.2	1.6 ± 2.9	Likely positive
	Circuit _{combined}	26.4 ± 2.0	26.9 ± 2.5	0.340	0.046	0.956		

Tabla 4. Cambios en diferentes variables antropométricas en respuesta a los dos protocolos de entrenamiento (Sperlich et al., 2017)

Un tema referente a la pérdida de peso es si este tipo de protocolos estimulan un gasto calórico alto, por lo que surge la pregunta sobre si la energía durante el entrenamiento en circuito, más la contribución anaeróbica, supone o no un gasto energético significativo para aplicarlo a los programas de pérdida de peso en patologías tales como la obesidad, ya que estamentos como el American College of Sport Medicine (ACSM) manifiesta la falta de evidencia sobre los programas de pérdida de peso basados exclusivamente en el entrenamiento con cargas (Benito et al., 2011; Pollock et al., 1998). A este respecto, un estudio clásico llevado a cabo por Willmore et al. (1978) determinó el coste energético de una sesión de entrenamiento en circuito en 7 kcal/kg/hr.

En un estudio llevado a cabo por Benito et al. (2016) se compararon tres protocolos en un grupo compuesto por 15 hombres y 14 mujeres con una edad comprendida entre 18 y 28 años considerados moderadamente activos.

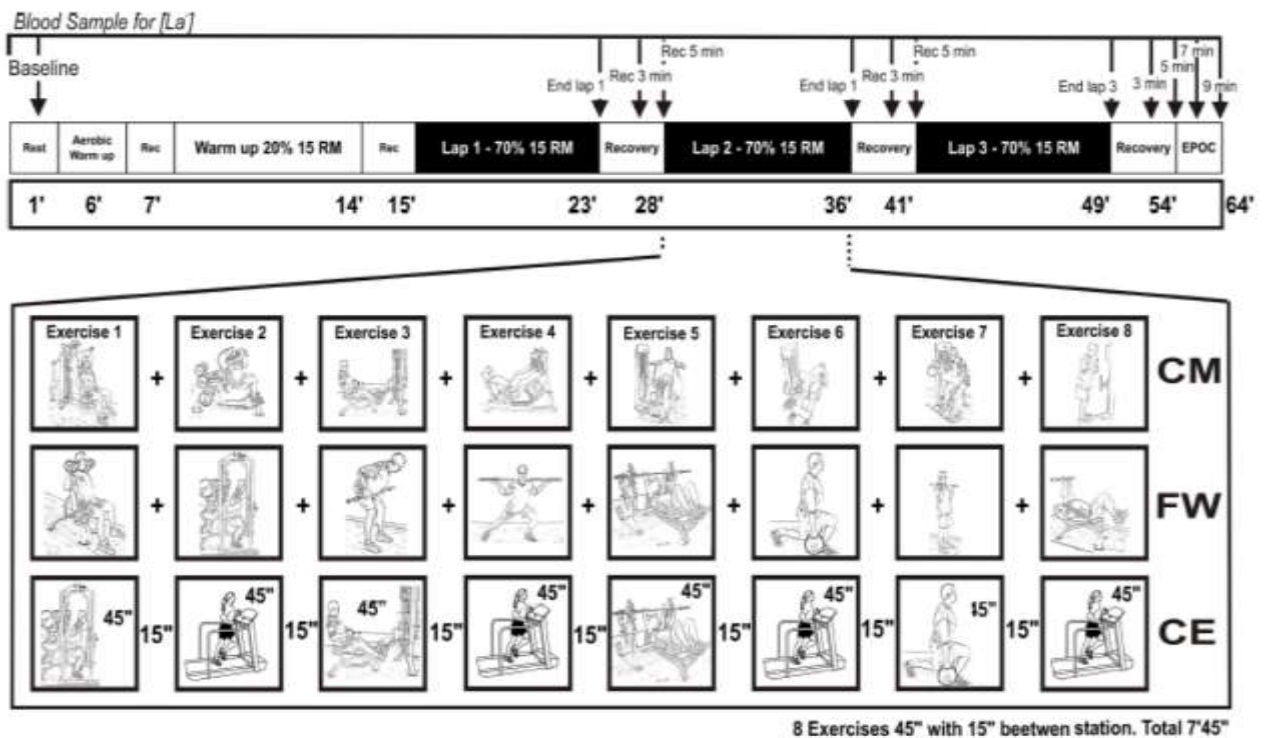


Ilustración 7. Explicación del protocolo propuesto por Benito et al. (2016)

En un protocolo se trabajó con pesos libres, en otro con máquina analíticas y en otro con pesos libre y se intercaló trabajo cardiovascular entre cada ejercicio. En cada puesta se ejecutaron 15 repeticiones al 70% de 15 RM siguiendo una cadencia 2:1 para las fases excéntrica y concéntrica respectivamente (45" por ejercicio). El trabajo cardiovascular se realizó al 70% de la frecuencia cardíaca de reserva. El descanso entre estaciones fue de 15", durando aproximadamente cada vuelta al circuito 7 minutos y 45 segundos. Considerando

que cada circuito eran tres vueltas, la duración total del circuito fue de 23 minutos y 15 segundos y la sesión completa, incluyendo el calentamiento, de 64 minutos.

	Men			Women			All		
	CM	FW	CE	CM	FW	CE	CM	FW	CE
VO ₂ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	22.2±2.5	26.0±2.0 ^a	32.0±3.3 ^{ab}	18.5±1.9	22.4±2.1 ^a	27.7±2.5 ^{ab}	20.4±2.9	24.2±2.8 ^a	29.9±3.6 ^{ab}
VO ₂ (%VO _{2max})	38.4±4.6	45.8±4.3 ^a	56.4±6.9 ^{ab}	38.6±4.8	46.7±5.8 ^a	57.7±4.5 ^{ab}	38.5±4.6	46.2±5.0 ^a	57.0±5.8 ^{ab}
RER	1.09±0.05	1.00±0.03 ^a	0.97±0.04 ^a	1.01±0.06	0.94±0.05 ^a	0.91±0.04 ^{ab}	1.05±0.07	0.97±0.05 ^a	0.94±0.05 ^{ab}
Ventilation (L·min ⁻¹)	69.1±10.5	75.4±12.4 ^a	79.7±8.6 ^a	44.0±6.6	48.1±7.2	53.3±8.5 ^a	57.0±15.4	62.2±17.2	67.0±15.9
HR (bpm)	152±11	160±11 ^a	160±10 ^a	141±17	150±14 ^a	155±11 ^a	147±15	155±14 ^a	158±10 ^a
[La ⁻] (mmol·L ⁻¹)	10.6±1.9	9.8±1.5	6.2±1.8 ^{ab}	7.5±2.2	6.1±1.7 ^a	3.9±1.1 ^{ab}	9.1±2.5	8.0±2.5 ^a	5.1±1.9 ^{ab}
[La ⁻] _{max} (mmol·L ⁻¹)	12.8±2.2	11.7±2.3	6.9±2.3 ^{ab}	8.5±2.5	6.9±1.9 ^a	4.5±1.4 ^{ab}	10.7±3.2	9.4±3.2	5.8±2.3 ^{ab}
RPE	8.9±0.2	9.5±0.2 ^a	7.6±0.3 ^{ab}	8.3±0.2	8.4±0.2	7.6±0.3 ^{ab}	8.4±0.2	9.0±0.2 ^a	7.6±0.3 ^{ab}

Tabla 5. Marcadores fisiológicos determinados en los diferentes protocolos y en relación al género (mujeres y hombres) y en conjunto (Benito et al., 2016)

Se midieron el consumo de oxígeno y la concentración de lactato a través del circuito para estimar el gasto energético aeróbico y anaeróbico respectivamente. El gasto energético fue mayor en el protocolo de combinación de ejercicios (29.9±3.6 ml/kg/min), comparado con los ejercicios de peso libre (24.2±2.8 ml/kg/min) y en máquinas (20.4±2.9 ml/kg/min). El protocolo de ejercicio combinado produjo el gasto energético total más alto pero la menor concentración de lactato y percepción del esfuerzo. La contribución anaeróbica al gasto energético total fue mayor en el protocolo con máquinas y peso libre en comparación con el protocolo de ejercicio combinado (6.2%, 4.6% y 2.3% respectivamente). En los protocolos propuestos, el protocolo de ejercicio combinado resultó en el mayor consumo de oxígeno. El gasto energético total está relacionado con el tipo de ejercicio incluido en el circuito. La contribución anaeróbica al gasto energético total durante entrenamientos en circuitos pesado puede ser modesta, pero la falta de su estimación puede subestimar el gasto energético total (Berlanga, 2016).

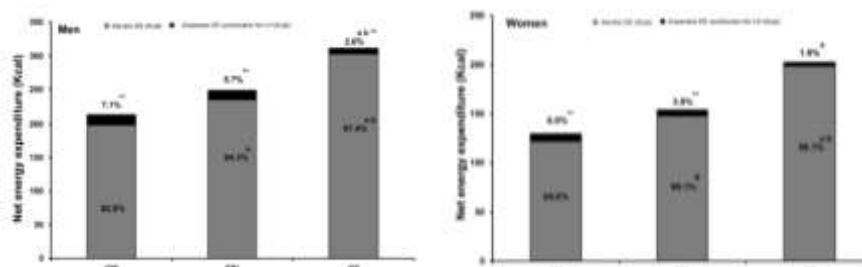


Ilustración 7. Energía gastada en respuesta a los tres protocolos realizados en mujeres y hombres (Benito et al., 2016)

Los mismos autores que realizaron el trabajo anteriormente expuesto replicaron el mismo estudio en el año 2013 aunque con diferentes objetivos. Los resultados mostraron una reducción del peso corporal significativa en el protocolo de circuito de alta intensidad y de baja intensidad en comparación con el protocolo cardiovascular mientras que el protocolo de alta

intensidad mostró significativos incrementos en la reducción del porcentaje graso en comparación a los otros dos protocolos.

	HICT			LICT			ET		
	pre	post	p	pre	post	p	pre	post	p
BW (kg)	89.4±2.7	86.3±2.3	p<0.001 **	86.8±4.4	84.2±3.7	p<0.05	87.6±4.6	84.4±4.1	p<0.05
FM (kg)	30.9±8.2	25.5±6.3	p<0.001 **	30±9.0	27.1±6.5	p<0.05	29.7±7.1	28.2±6.5	p<0.05
LBM (kg)	58.5±8.2	60.8±7.3	p<0.005 **	56±7.7	57.1±6.9	p<0.05 †	57.9±5.9	56.2±6.4	n.s.

Tabla 6. Cambios en diferentes marcadores de composición corporal en respuesta a tres protocolos diferentes de entrenamiento (Benito et al., 2013)

Beckham y Earnest (2000) determinaron el gasto calórico en un grupo de 18 mujeres y 12 hombres que realizaron un entrenamiento en circuito con pesos libres que incluía sentadillas y ejercicios para el tren superior realizados de forma consecutiva. Todos los sujetos realizaron el entrenamiento con dos cargas diferentes (cargas bajas de 1.4 kg para mujeres y hombres y cargas medias de 5.9 kg para mujeres y 10.5 kg para hombres). Los resultados demostraron un gasto calórico de 3.62 kcal/min y de 4.04 kcal/min respectivamente con cargas bajas y medias en mujeres y de 4.99 kcal/min y de 6.21 kcal/min para hombres. De estos resultados se puede extrapolar que los hombres presentan un mayor gasto calórico que las mujeres debido a un mayor peso corporal y mayor masa libre de grasa. Aunque esta diferencia en cuanto al gasto energético calórico cuando se expresó en valores relativos a la masa libre de grasa no presentó diferencias estadísticamente significativas.

Gender	Variable	Condition	
		LR (N=18)	MR (N=18)
Females	VO ₂ (ml/min)	734.6±95.4*	818.8±93.2*
	VO ₂ (ml/kg·min)	12.1±1.6	13.5±1.4*
	HR (b/min)	107.1±16.7	119.2±19.2*
	RER (VCO ₂ /VO ₂)	0.94±0.09	0.95±0.11
	EE (kcal/min)	3.62±0.45*	4.04±0.45*
	EE (kcal/kg·hr)	3.59±0.49	4.01±0.59*
	EE (kcal/kg(LBM)·hr)	4.51±0.98	5.05±0.70*
Males	VO ₂ (ml/min)	1009.0±150.4	1231.4±198.1*
	VO ₂ (ml/kg·min)	12.9±1.8	15.7±2.3*
	HR (b/min)	114.0±20.7	129.5±18.4*
	RER (VCO ₂ /VO ₂)	0.91±0.08	1.01±0.11
	EE (kcal/min)	4.99±0.83	6.21±1.01*
	EE (kcal/kg·hr)	3.82±0.57	4.75±0.67*
	EE (kcal/kg(LBM)·hr)	4.34±0.58	5.41±0.75*

Tabla 7. Variables fisiológicas analizadas en el estudio en respuesta a dos protocolos y en ambos géneros (Beckham y Earnest, 2000)

En otro trabajo llevado a cabo por Benito et al. (2008) analizaron el gasto calórico en seis hombres y seis mujeres jóvenes estudiantes de educación física. El protocolo consistió en siete ejercicios con una pausa máxima de 10 segundos entre cada uno. El orden de los

ejercicios fue, press de pecho, extensiones de cuádriceps, jalones en polea, press de hombros, curl femoral, flexión de bíceps y extensión de tríceps. El entrenamiento de desarrolló en dos días diferentes, el primero día se ejecutó una vuelta al circuito al 40%, la siguiente vuelta al 50% y la última al 60% de la intensidad máxima (15 RM), descansando 5 min entre cada intensidad, este protocolo se denominó de intensidad ligera (IL). El segundo día de evaluación realizaron este mismo protocolo pero al 70, 80 y 85% de 15 RM, al que se denominó de intensidad pesada (IP). Los resultados mostraron que la energía gastada en los protocolos oscila entre 3.6 kcal/min en mujeres que realizaron el circuito ligero hasta 6,8 kcal/min para hombres que realizaron el circuito intenso.

Un estudio llevado a cabo por Da Silva et al. (2010) estudió el orden de los ejercicios dentro de dos protocolos de entrenamiento diferentes y cómo influían en el gasto energético y la magnitud del EPOC postejercicio. Los ejercicios utilizados en ambos protocolos fueron exactamente los mismos, lo que se modificó fue el orden de ejecución. Un protocolo se basó en la técnica conocida como prefatiga, en este caso en concreto a través de la ineficiencia demostrada cuando el ejercicio monoarticular se ejecuta primero se decidió realizar ejercicios biarticulares previos a los monoarticulares para cada grupo muscular. El protocolo que utilizó un entrenamiento en circuito alternó ejercicios del tren superior con el tren inferior. No se realizaron descansos entre los diferentes ejercicios, y en los dos protocolos se realizaron 3 series de 12 repeticiones para cada ejercicio de los 7 totales, ejecutando 36 repeticiones en cada ejercicio. Las cargas utilizadas fueron del 50% de 1RM en los ejercicios monoarticulares y del 55% de 1RM en los biarticulares.

Pre-exhaustion	Circuit
1st Bench press	1st Bench press
2nd Pectoral fly	2nd Leg press
3rd Leg press	3rd High row
4th Knee extension	4th Knee extension
5th Knee flexion	5th Pectoral fly
6th High row	6th Knee extension
7th Back fly	7th Back fly

Tabla 8. Ejercicios y orden de ejecución en dos protocolos de entrenamiento diferentes (Da Silva et al., 2010)

Los resultados mostraron que el orden de ambos protocolos a la hora de ejecutar los ejercicios eran capaces de mantener la curva de recuperación de absorción de oxígeno postejercicio

por encima de los niveles de reposo durante 30 minutos incluso utilizando cargas relativamente bajas. Otro hallazgo importante del estudio es que en las mujeres físicamente activas no hay una diferencia significativa en el EPOC cuando los ejercicios contra resistencias para un mismo grupo muscular son realizados secuencialmente o cuando se realizan alternando a un grupo muscular antagonista.

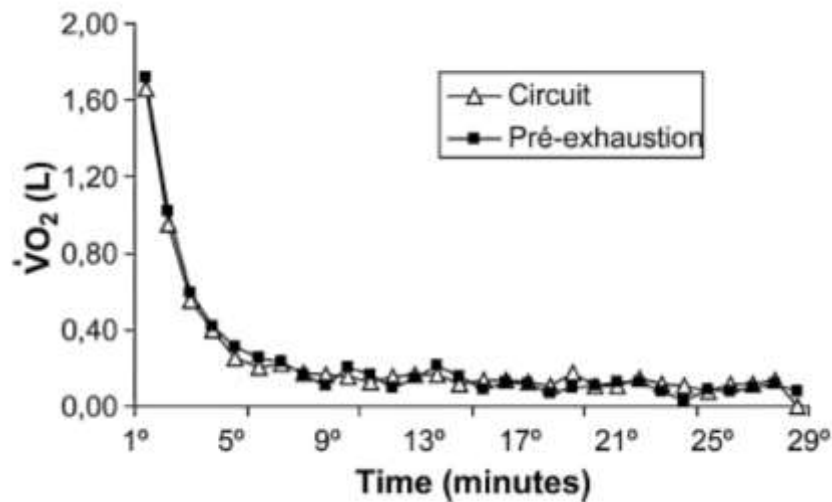


Ilustración 8. Respuesta del volumen de oxígeno a lo largo del tiempo en los dos protocolos (Da Silva et al., 2010)

A pesar de la importancia del mantenimiento de la masa muscular en determinados grupos de poblaciones (personas mayores), es escasa la información científica disponible sobre las adaptaciones morfológicas a nivel muscular después de un programa de entrenamiento en circuito. Uno de los inconvenientes de este tipo de protocolos hace referencia a la hipotética ganancia de masa muscular debido a la relativamente baja carga movilizada, siendo el estímulo para las adaptaciones mínimo (Romero- Arenas, 2010). Para la masa muscular, los circuitos con intensidades bajas del 40% del 1RM fueron suficientes para aumentar la masa muscular tanto en hombres como en mujeres (Gettman, Ward y Hagan, 1982). Arenas et al. (2013) encontraron un aumento de la masa muscular del 3.4% después de un protocolo en circuito de alta intensidad. Gettman et al. (1982) observaron ganancias de entre 1 y 1,9 kg en la masa muscular total en personas de 35-36 años de edad. Weinsier, Schutz y Bracco. (1992) demostraron que, en teoría, una ganancia de 1 kg de masa muscular debería aumentar el gasto energético en reposo aproximadamente 21 Kcal/día (Weinser et al., 1992). Un aumento en el músculo (o masa magra) como resultado del entrenamiento de fuerza contribuye en el mantenimiento o el aumento de la tasa metabólica en reposo o basal. Tal aumento en la tasa metabólica puede complementar el aumento en el gasto calórico producido por el entrenamiento aeróbico para ayudar a controlar el peso (Paoli et al., 2010).

Mazini Filho et al. (2017) han publicado un artículo reciente cuyo objetivo fue investigar los efectos de un entrenamiento de fuerza en circuito sobre la fuerza muscular, la autonomía funcional y distintos indicadores antropométricos en mujeres de edad avanzada. Participaron 65 mujeres que fueron asignadas a dos grupos: entrenamiento de fuerza (TG) y grupo control (CON). El entrenamiento de fuerza se realizó en circuito, 3 días por semana, durante 12 semanas. En cada sesión de entrenamiento, el circuito se realizó 3 veces ejecutando cada serie con un rango de 8-12 repeticiones con 30 segundos de recuperación por ejercicio en cada circuito. Los resultados mostraron que el TG disminuyó el peso corporal (-1,5 kg) y BMI (-0,57), disminuyendo la circunferencia abdominal (-3 cm), cintura (-1 cm) y relación cintura/cadera.

Variable	Control Group	Evaluation moment (p value)	Strength Training Group	Evaluation moment (p value)	Comparison between groups
Weight (kg)					
Pre	70±10.98	0.87	71.50±11.12	0.57	0.12
Post 6 weeks	69.50±11.16	0.88	70.50±10.69	0.12	0.09
Post 12 weeks	70±11.28	0.57	70.00±10.67	0.04*	0.05*
BMI (kg/m²)					
Pre	25.52±13.05	0.95	27.88±4.51	0.65	0.11
Post 6 weeks	25.36±13.08	0.93	27.58±4.38	0.21	0.08
Post 12 weeks	25.61±13.21	0.84	27.31±4.31	0.05*	0.04*
Abdominal (cm)					
Pre	99±8.90	0.77	100±10.28	0.06	0.84
Post 6 weeks	99.50±9.20	0.69	99.00±10.1	0.05*	0.63
Post 12 weeks	101.50±9.27	0.78	97±9.36	0.04*	0.04*
Waist (cm)					
Pre	88.50±8.65	0.67	89±10.09	0.09	0.42
Post 6 weeks	89.50±8.72	0.69	88.50±9.39	0.04*	0.47
Post 12 weeks	89.50±8.72	0.70	88±9.38	0.05*	0.04*

Tabla 9. Cambios en diferentes variables referenciales a la composición corporal en los tres grupos realizados en el protocolo (Mazini Filho et al., 2017)

5.1.2- Cambios en los valores funcionales

Uno de los objetivos del entrenamiento en circuito con sobrecargas es el desarrollo simultáneo de la fuerza y la resistencia cardiovascular. Debido a que los entrenamientos de este tipo suelen depender del uso de pesos ligeros y hacer muchas repeticiones, el incremento de fuerza y potencia según algunos autores es muy limitado (Stiff y Verchosansky, 2000). El atractivo del entrenamiento en circuito con sobrecargas está en su capacidad teórica para desarrollar la fuerza muscular y resistencia, así como aptitud a nivel cardiorrespiratorio todo en una sesión de ejercicio (Skidmore, Jones, Blegen, y Matthews, 2012), permitiendo un desarrollo rápido de la performance de entrenamiento (Aniceto et al., 2015). Junto con el típico entrenamiento en circuito con sobrecargas han surgido nuevas formas en un intento por aumentar el componente cardiovascular, sustituyendo los periodos de descanso por actividades aeróbicas en lugar de los típicos periodos de descanso entre los ejercicios de levantamiento de sobrecargas, surgiendo el entrenamiento en circuito con sobrecargas aeróbico (Skidmore et al., 2012). Pese al aumento en popularidad del entrenamiento en circuito con sobrecargas y el entrenamiento interválico entre atletas y sujetos recreacionales, el efecto combinado de los dos métodos que da lugar al entrenamiento en circuito con sobrecargas interválico (CWIT) ha sido poco estudiado (Skidmore et al., 2012)

Una comparativa entre los tres protocolos nombrados anteriormente se llevó a cabo por Skidmore et al. (2012) a nivel de los efectos agudos referentes a tres variables; la percepción subjetiva del esfuerzo, el lactato sanguíneo y la frecuencia cardíaca en 11 mujeres sanas y recreacionales.

TRAD Protocol (30 sec HI: 30 sec rest) Total Time: 28 min.	ACWT Protocol (30 sec HI: 15 sec rest) Total Time: 41 min.	CWIT Protocol (30 sec HI: 15 sec rest) Total Time: 41 min.
1. Data collection (rest)	1. Data collection (rest)	1. Data collection (rest)
2. Bike Warm up (5 min @ 60-70% HRmax)	2. Bike Warm up (5 min @ 60-70% HRmax)	2. Bike Warm up (5 min @ 60-70% HRmax)
3. STATION A ¹ (9 min)	3. Bike: 2:30 min @ 65-75% HRmax	3. STATION A ¹ (6:45 min)
4. Data collection	4. STATION A ¹ (6:45 min)	4. Bike: 30 sec max effort sprint, 3 min easy pedal
5. STATION B ² (9 min)	5. Bike: 2:30 min @ 65-70% HRmax	5. Data collection
6. Data collection	6. Data collection	6. STATION B ² (6:45 min)
7. STATION C ³ (10 min)	7. STATION B ² (6:45 min)	7. Bike: 30 sec max effort sprint, 3 min easy pedal
8. Data collection	8. Bike: 2:30 min @ 65-70% HRmax	8. Data collection
9. Cool down (5 min easy pedal)	9. Data collection	9. STATION C ³ (7:30 min)
STATION A¹ (3 x 13 reps each) -Triceps bench dips -Hip lifts -Pronate planks (1 x 30 sec hold)	10. STATION C ³ (7:30 min)	10. Bike: 30 sec max effort sprint, 3 min easy pedal
STATION B² (3 x 13 reps each) -Standing biceps curl -Dumbbell (DB) squats -Pushups	11. Bike: 2:30 min @ 65-75% HRmax	11. Data Collection
STATION C³ (3 x 13 reps each) -Standing DB lateral raise -DB split squat R leg -DB split squat L leg -Standing DB bent-over row	12. Data collection	12. Cool down (5 min easy pedal)
	13. Cool down (5 min easy pedal)	

Tabla 10. Programación llevada a cabo por Skidmore et al. (2012)

Los resultados mostraron que el protocolo en circuito tradicional y el aeróbico presentaron una elevación de lactato similar hasta la estación C, donde el circuito con orientación aeróbica mostró mayores elevaciones. El entrenamiento en circuito con sobrecargas interválico mostró las mayores elevaciones de lactato en todos los puntos temporales en comparación con los otros dos protocolos. Pese a que los tres protocolos fueron de semejante duración, el circuito interválico mostró las mayores elevaciones de la FC en todas las franjas temporales de los ejercicios en comparación a los otros dos protocolos. Las mediciones de la RPE fueron mayores en el protocolo interválico que en el tradicional en los tres puntos temporales o que en el entrenamiento con orientación aeróbica. Por otro lado, la RPE fue mayor en el entrenamiento de orientación aeróbica que en el tradicional en los tres puntos temporales.

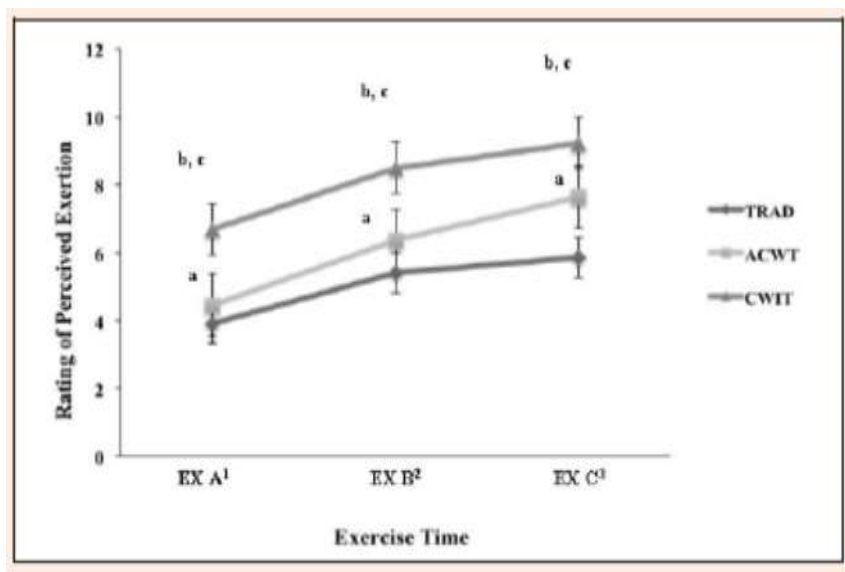


Ilustración 9. RPE en respuesta a tres protocolos de entrenamiento en tres puntos temporales de medición (Skidmore et al., 2012)

El estudio llevado a cabo por Benito et al. (2016) en el que se comparan tres protocolos de entrenamiento resultó en una respuesta fisiológica con un mayor valor de $\dot{V}O_2$ máximo en el protocolo que alternó entrenamiento de fuerza y de resistencia, así como una menor percepción relativa del esfuerzo y acumulación de lactato, siendo el único protocolo que alcanzó un valor por encima del 50% del $\dot{V}O_2$ máx, la intensidad mínima que recomendada por la ACSM para generar adaptaciones cardiovasculares inducidas por el ejercicio. Un estudio llevado a cabo por Monteiro et al. (2008) utilizó un diseño cruzado con 10 hombres y 15 mujeres para comparar los resultados fisiológicos producidos por dos tipos de circuitos con sobrecargas. Los ejercicios llevados a cabo en ambos protocolos fueron semejantes, 8 estaciones que trabajaban grandes grupos musculares. Cada ejercicio se realizó durante 60 segundos con un peso de 2 y 4 kg para las mujeres y de 4 y 6 kg para los hombres, para los

miembros superiores e inferiores respectivamente. La diferencia entre los protocolos radica en que en uno de ellos (entrenamiento en circuito combinado o CCT) la duración de las estaciones se dividió en 30 segundos de trabajo con sobrecargas y 30 segundos de carrera en la cinta. De 10 a 15 segundos se permitieron entre cada puesta para ambos protocolos.

CWT		CCT		
Warm-up	10 min	Warm-up	10 min	
Main part	10 min	Main part	10 min	
Exercises		Exercises		Treadmill
Squat	60"	Squat	30"	30"
Push up	60"	Push up	30"	30"
Right leg lunge with biceps curl	60"	Right leg lunge with biceps curl	30"	30"
Bent over row	60"	Bent over row	30"	30"
Left leg lunge with biceps curl	60"	Left leg lunge with biceps curl	30"	30"
Upright row with squat	60"	Upright row with squat	30"	30"
Wide squat with military press	60"	Wide squat with military press	30"	30"
Cool down	5 min	Cool down	5 min	

Tabla 11. Distribución de las variables de programación y selección de ejercicios en los dos protocolos de entrenamiento (Benito et al., 2016)

Los resultados mostraron que el entrenamiento en circuito combinado suponía mayor estrés fisiológico que el entrenamiento en circuito con sobrecargas exclusivamente. En el entrenamiento exclusivo con sobrecargas las mujeres necesitaban una mayor franja del VO₂ máximo para ejecutar un protocolo similar al de los hombres, debido a un menor potencial aeróbico que los hombres. El entrenamiento que utilizó únicamente sobrecarga produce un consumo de oxígeno menor que el recomendado por la ACSM. Para favorecer las adaptaciones a nivel cardiorespiratorio es fundamental monitorizar la respuesta aguda inducida por las diferentes variables de programación. La ACSM recomienda intensidades de esfuerzo comprendidas entre el 50-58% del VO₂ máximo para promover adaptaciones en el sistema cardiorrespiratorio. El protocolo que utilizó exclusivamente entreno con sobrecargas en circuito produjo intensidades del 47% del VO₂ máximo para hombres y del 43 % del VO₂ máximo para mujeres, por otro lado, el protocolo en circuito mixto produjo valores del 59% del VO₂ máximo para hombres y del 47 % del VO₂ máximo para mujeres, siendo este protocolo adecuado para la mejora del nivel de fitness cardiovascular tanto para hombres como para mujeres (Monteiro et al., 2008)

Gender	Parameters	Training session	
		CWT	CCT
Female	VO ₂ (L·min ⁻¹)	1.0±0.2	1.3±0.3*
	VO ₂ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	17.5±2.8	20.8±2.8*
	%VO _{2max}	47.2±5.9	59.8±7.8*
	HR (bpm)	141.2±14.6	141.7±14.3
	%HRmax	76.0±7.6	76.4±7.5
	EE (kcal·min ⁻¹)	5.1±1.2	6.3±1.3*
	EE (kcal·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	5.3±1.2	6.5±1.3*
Males	EE (kcal·kg(FFM) ⁻¹ ·h ⁻¹)	6.9±1.1	8.5±1.8*
	VO ₂ (L·min ⁻¹)	1.5±0.1*	1.7±0.3**
	VO ₂ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	20.4±2.0*	23.8±2.8**
	%VO _{2max}	43.6±3.9*	46.9±8.7*
	HR (bpm)	145.5±19.9	137.4±11.2
	%HRmax	75.7±9.2	71.4±4.4
	EE (kcal·min ⁻¹)	7.3±0.8*	8.3±1.2**
EE (kcal·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	6.2±0.8	7.0±1.1*	
EE (kcal·kg(FFM) ⁻¹ ·h ⁻¹)	6.8±0.8	7.8±1.1*	

Tabla 12. Resultados del estudio llevado a cabo por Monteiro et al. (2008) en diferentes variables

La correlación entre la percepción subjetiva del esfuerzo y los niveles de lactato se ha demostrado en un estudio llevado a cabo por Aniceto et al. (2015). Un grupo de 10 adultos jóvenes moderadamente activos fueron divididos aleatoriamente en dos grupos. Los dos realizaron 3 sesiones, una de orientación y dos experimentales compuestas por 8 ejercicios estandarizados al 60% de 1RM, 24 series (3 series por ejercicio) o 24 estaciones (3 circuitos). Los dos métodos de entrenamiento fueron un circuito con sobrecargas o un trabajo en serie múltiple. El intervalo de descanso entre series y ejercicios fue de 60 segundos. En cada protocolo los sujetos realizaron 10 repeticiones con 2 segundos de duración cada una, para cumplimentar un ratio de trabajo descanso de 1:3. Los resultados demostraron que los niveles de lactato sanguíneo aumentaron durante el circuito con sobrecargas y la correlación entre los niveles de lactato y el RPE fue alta.

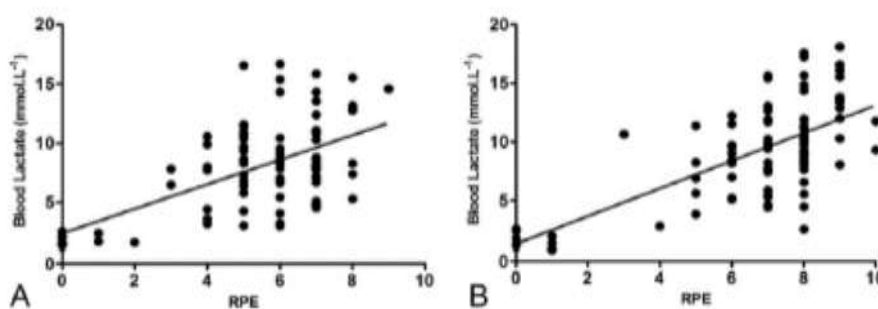


Ilustración 10. Correlaciones entre la RPE y los niveles de lactato en los dos protocolos del estudio llevado a cabo por Aniceto et al. (2015)

En un estudio llevado a cabo por Harber, Fry, Rubin, Smith y Weiss (2014) se analizaron los cambios en el músculo esquelético y los niveles hormonales que sufría un grupo de sujetos sedentarios de edades comprendidas entre 18-35 años. Los sujetos realizaron el entrenamiento en circuito con sobrepesos a lo largo de 10 semanas con una frecuencia de 3

días semanales. El programa se basó en series de 20-30 segundos con un mínimo tiempo de descanso entre series (10-30 segundos) a una intensidad moderada (40-60% de 1RM). Los sujetos completaron 10 ejercicios, 7 utilizando máquinas nautilus y 3 utilizando máquinas hammer strenght. Para optimizar los resultados, se realizó una periodización como se muestra en la imagen inferior a lo largo de las 10 semanas que duró el protocolo a través de una manipulación de las variables de programación tiempo de descanso, número de series e intervalos de trabajo.

Week	Work interval (s)	Rest interval (s)	No. of sets
1	30	30	1
2	30	30	2
3	30	20	2
4	30	20	2
5	20	30	1
6	20	30	2
7	20	20	2
8	20	20	2
9	20	10	2
10 (sessions 1 and 2)	20	10	3
10 (session 3)	30	30	1

Tabla 13. Programación periodizadando los intervalos de descanso y de trabajo así como el número de series (Harber et al., 2014)

Los resultados mostraron que 10 semanas de entrenamiento en circuito con sobrecargas generó una conversión fibrilar de las cadenas pesadas de miosina tipo IIb a IIa sin ninguna transformación significativa en el porcentaje en la mATPasa miofibrilar. Las evidencias sugieren que la conversión a partir de las isoformas de las cadenas pesadas de miosina (MHC) ocurre antes de que se genere una transformación en el porcentaje de mATPasa fibrilar. Un descenso del 6% en la MHC de tipo IIb con un incremento del 8% en la MHC de tipo IIa se observó en el presente estudio (Harber et al., 2004).

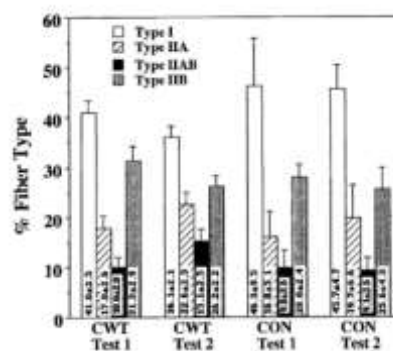


Ilustración 11. Cambios en los diferentes tipos fibrilares en respuesta al protocolo de entrenamiento en circuito con sobrecargas en dos test temporales (Harber et al., 2014)

Varios mecanismos fisiológicos pueden haber contribuido a las adaptaciones fibrilares musculares observadas existentes. El primero es la falta de adaptaciones crónicas y agudas en las concentraciones totales de testosterona y cortisol, así como en el ratio testosterona/cortisol. El entorno endocrino circundante puede tener un profundo impacto en el proceso de adaptación músculo esquelético al entreno contra resistencias. Aunque las adaptaciones a largo plazo del sistema endocrino han sido estudiadas en respuesta al entrenamiento contra resistencias, no todos los protocolos de entrenamiento parecen generar una respuesta aguda en el sistema endocrino, similar a lo observado en el presente estudio. Las mejoras en la fuerza muscular sucedieron sin ningún acompañamiento en los cambios a nivel hormonal. Este dato sugiere que la mejora muscular a través de un protocolo en circuito contra resistencias (CWT) realizado durante 10 semanas se debe más a factores como el reclutamiento neural y adaptaciones metabólicas que a cambios en el perfil de tipo fibrilar o en el entorno hormonal.

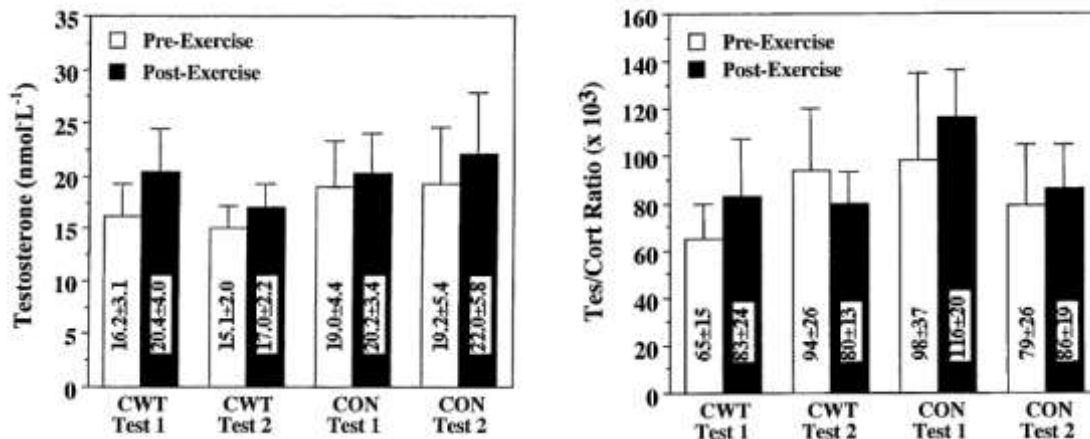


Ilustración 12. Cambios en los valores de testosterona y ratio testosterona/cortisol en los diferentes test (Harber et al., 2014)

Otra causa a nivel fisiológico que puede explicar la respuesta al presente protocolo es que posiblemente exista un umbral de intensidad para las adaptaciones fibrilares específicas. Es posible también que los intervalos de descanso breves sean los responsables del menos grado de adaptación de la mATPasa de tipo fibrilar y la expresión proteica MHC en el presente estudio. También es posible que es estrés glucolítico generado con el protocolo contribuyó a la hipertrofia de las fibras IIA y las transiciones en la MHC, mientras que las cargas relativamente bajas evitaron un ambiente óptimo para las adaptaciones musculares. Otra posibilidad es la transformación de los tipos fibrilares y la expresión de las isoformas proteicas en respuesta al estímulo de entrenamiento en circuito con sobrecargas simplemente tarda más de 10 semanas.

Otro hallazgo fue el significativo incremento en el área de sección transversal únicamente de las fibras de tipo IIA. La falta de hipertrofia en las fibras I y IIB está en contraste con la respuesta hipertrófica encontrada en otros estudios que utilizan entrenamiento contra resistencias. Esto puede ser explicado porque el umbral de intensidad para solicitar aumentos en la hipertrofia es superior al 40% de 1RM.

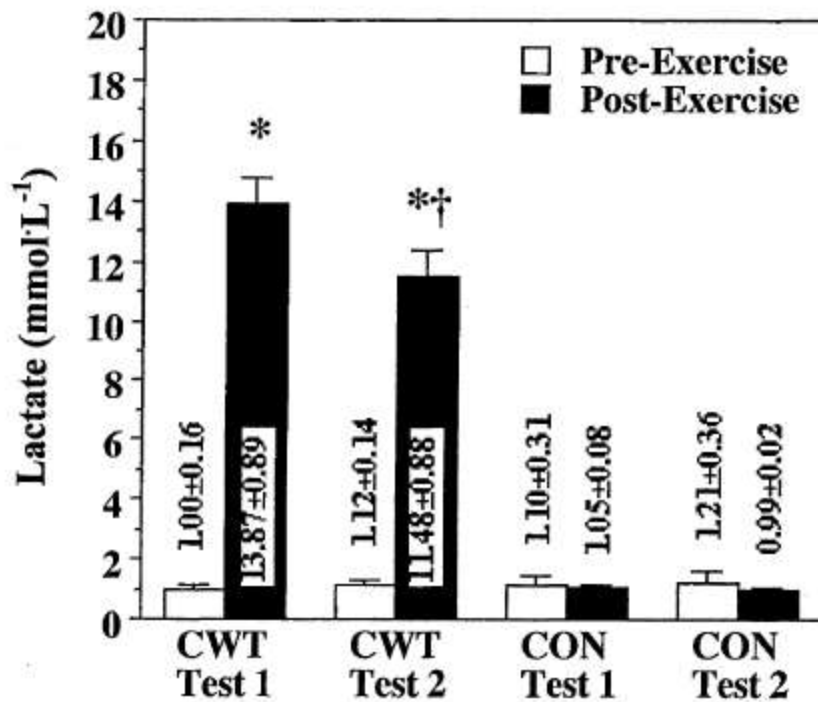


Ilustración 13. Cambios en los niveles de lactato en respuesta al protocolo de entrenamiento con sobrecargas propuesto en el estudio (Harber et al., 2014)

Algunos investigadores han encontrado que el entrenamiento basado en un circuito con sobrecargas, donde cargas bajas son levantadas con mínimos tiempos de descanso es muy efectivo para incrementar el consumo máximo de oxígeno, la máxima ventilación pulmonar, capacidad funcional y fuerza mientras mejora la composición corporal (Romero-Arenas et al., 2013). Este tipo de protocolos son eficientes en la optimización del tiempo y puede generar demostrables mejoras en la salud y forma física. Una inconveniente de este tipo de circuitos estándar es que la carga utilizada por lo general es demasiado baja, por lo que el estímulo para las adaptaciones en la fuerza y músculo así como para la densidad ósea son mínimas. A este aspecto y en relación a la última adaptación citada, Romero-Arenas et al. (2013) desarrollaron un estudio con 37 mujeres y hombres desentrenados de edades comprendidas entre 55-75 años. Se crearon tres grupos de forma aleatoria, un grupo realizó entrenamiento con sobrecargas de forma tradicional, otro grupo realizó entrenamiento en circuito y otro grupo

fue el control. Los dos grupos de entrenamiento realizaron un trabajo con cargas altas (6RM) a lo largo de 12 semanas, ejecutando una periodización ondulante dos días a la semana.

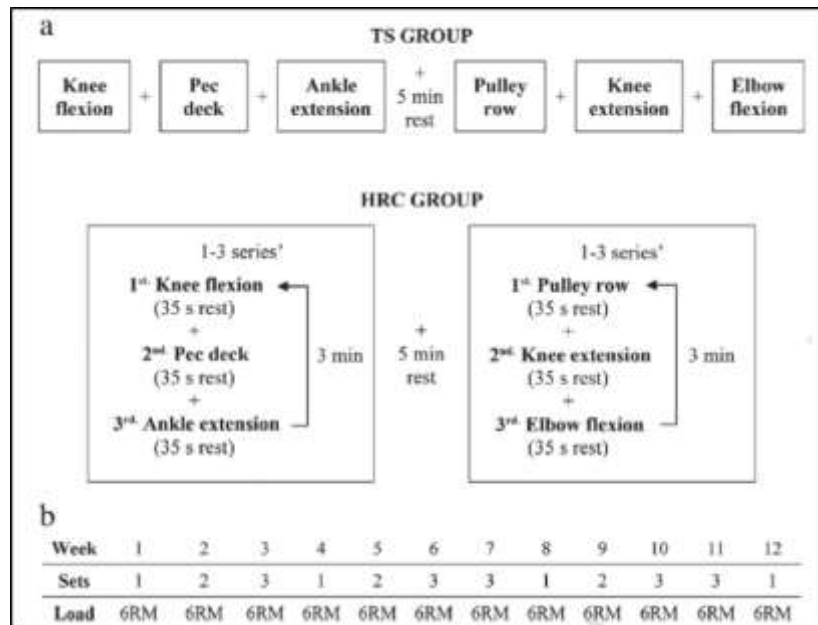


Ilustración 14. Explicación detallada del protocolo desarrollado por Arenas et al. (2013)

Los resultados mostraron que la realización de un entrenamiento en circuito con sobrecargas altas puede ser tan efectivo como un entrenamiento tradicional con sobrecargas más bajas para el desarrollo de la fuerza muscular, masa muscular y densidad mineral ósea, pero es más efectivo en estimular adaptaciones cardiovasculares y mejoras en la composición corporal en individuos mayores.

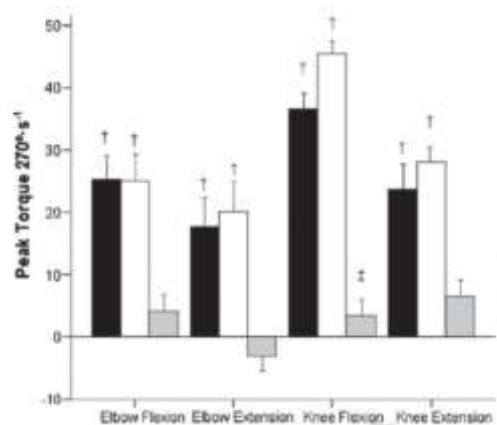


Ilustración 15. Cambios en el peak torque en diferentes grupos musculares en el estudio llevado a cabo por Arenas et al. (2013)

Un importante hallazgo de este estudio fue el aumento de la densidad mineral ósea en el grupo que entrenó en circuito con sobrecargas altas. Después de 12 semanas de

entrenamiento la densidad ósea corporal total aumentó moderadamente pero uniformemente en ambos grupos experimentales mientras que no aumentó en el grupo control (Romero-Arenas et al., 2013). La baja intensidad adoptada en los circuitos con sobrecargas tradicionales limita las posibilidades de aumentar la densidad mineral ósea. Brentano et al. (2008) llevaron a cabo un protocolo de entrenamiento en circuito con sobrecargas con mujeres postmenopáusicas que progresaba a lo largo de 24 semanas y las intensidades oscilaban entre el 45-60% de 1RM y no se producían descansos entre los ejercicios. Los resultados mostraron que no hubo variaciones en la densidad mineral ósea de distintas zonas después del período de entrenamiento. Los autores achacaron la baja intensidad utilizada como ineficiente para estimular el suficiente estrés mecánico para estimular incrementos en la densidad mineral ósea. Además, la falta de ejercicios que favorezcan la compresión como la sentadilla o el peso muerto puede haber perjudicado las adaptaciones positivas en este aspecto a nivel femoral o en la espina lumbar (Brentano et al., 2008). Como se pudo observar en un estudio llevado a cabo por Elisis, Mousa y Eldesoky (2015) en el que 30 mujeres sedentarias con edades comprendidas entre 60-70 años realizaron un entrenamiento en circuito durante 12 semanas en el que la intensidad progresaba a lo largo del tiempo desde un 60% de 1RM hasta 80% de 1RM y también el volumen de series y repeticiones (de 1-2 series hasta 3 y de 10 repeticiones a 8 en determinados periodos). Cabe destacar que se realizó un trabajo caminando en la cinta a una intensidad moderada del 60-65% de la FCM como un descanso activo cada dos series sucesivas. Los resultados mostraron que el entrenamiento en circuito con sobrecargas mejoró la densidad mineral ósea así como el contenido mineral óseo del cuello femoral, el trocánter, el triángulo de Ward y la espina lumbar. La densidad mineral ósea es un aspecto que interesa en situaciones subsiguientes a determinadas enfermedades. Tras un periodo de 12 meses de tratamiento contra el cáncer ginecológico se producen reducciones de la densidad mineral ósea (BMD) de entre un 6 y un 10%. El ejercicio físico se ha mostrado ya como una acción beneficiosa en relación al aumento de la masa ósea. Sin embargo, no se conoce todavía el volumen necesario de ejercicio, en este tipo de población, para alcanzar los mayores beneficios en relación a la densidad mineral ósea. Por ello, el objetivo del estudio llevado a cabo por Almstedt et al. (2016) fue evaluar la influencia de 26 semanas de ejercicio combinado de tipo aeróbico y de fuerza (CART) en la densidad mineral ósea (BMD) en una muestra de mujeres supervivientes de cáncer. Para ello se reclutaron 26 mujeres supervivientes de cáncer de mama, que realizaron 3 sesiones semanales de 1 hora de duración en las que se incluyeron 20 minutos de ejercicio de tipo aeróbico, 25 minutos de ejercicio de fuerza en circuito y 15 minutos de ejercicio focalizado en el área abdominal y estiramientos. Se llevó a cabo una evaluación previa, a través de densitometría (DXA) y de marcadores séricos del metabolismo óseo (como P1NP y CTX), a las 12 semanas del inicio del entrenamiento y al final. Del grueso inicial, 18 participantes

finalizaron el estudio, obteniéndose resultados positivos en relación a ganancias de la masa ósea en la columna (0.971 ± 0.218 g/cm² vs. 0.995 ± 0.218 g/cm², $p = 0.012$), la cadera (0.860 ± 0.184 g/cm² vs. 0.875 ± 0.191 g/cm², $p = 0.048$) y la masa ósea global (1.002 ± 0.153 g/cm² vs. 1.022 ± 0.159 g/cm², $p = 0.002$). A su vez, se obtuvieron mejoras en la P1NP (con una reducción del 28%), pero no se obtuvieron diferencias en la CTX. Los resultados muestran que un programa CART en mujeres supervivientes de cáncer es factible y seguro, además de que proporciona mejoras en la BMD, por lo que sería recomendable introducir este tipo de intervenciones en estos pacientes.

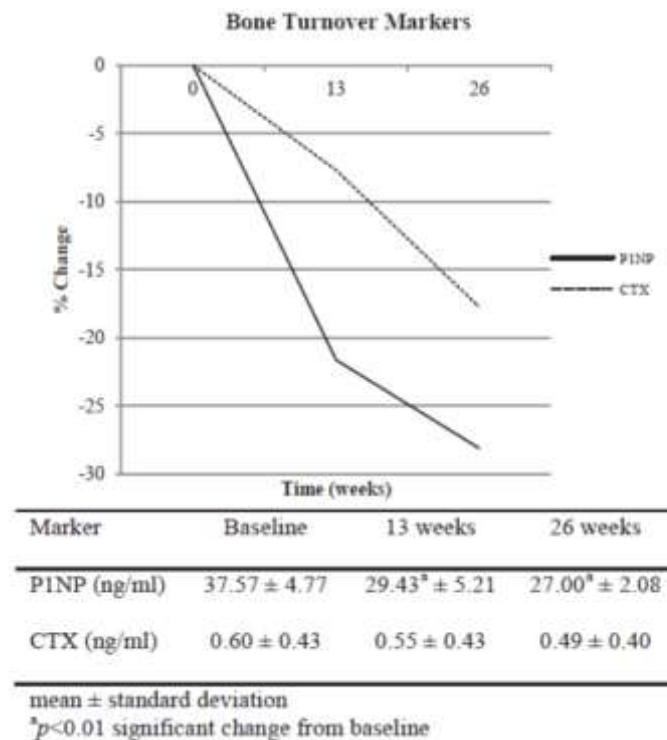


Ilustración 16. Cambios en los marcadores de la síntesis ósea en el experimento llevado a cabo por Almstedt et al. (2016)

Por otro lado, este tipo de protocolos resultan eficientes en la ganancia de fuerza, capacidad de vital importancia en la autonomía funcional en sujetos de edad avanzada, como ha demostrado un metaanálisis llevado a cabo recientemente por Buch et al. (2017) en el que se incluyeron 10 estudios y un total de 362 sujetos con una media de edad de 64.5 ± 7.4 años que ejecutaban 3 ± 1.15 sesiones semanales con una duración por sesión de 41.8 ± 15.9 min. El resultado indicó que la fuerza aumentó modestamente (en mayor proporción en el tren inferior). Un volumen de entreno elevado (más de 24 sesiones) incluye positivamente en la fuerza del tren inferior y la capacidad aeróbica.

5.1.3- Efectos sobre biomarcadores fisiológicos de salud

El entrenamiento en circuito con sobrecargas ha resultado efectivo en la mejora de la regulación de la glucosa en sujetos normoglucémicos y en sujetos diabéticos no dependientes de insulina como demostró el estudio llevado a cabo por Dunstan et al. (1998), en el que 27 sujetos con diabetes tipo II realizaron un protocolo en circuito 3 días a la semana durante 8 semanas con una proporción 1:1 entre trabajo y descanso, obteniendo una reducción marcada en la glucosa e insulina en el área debajo de la curva después de protocolo.

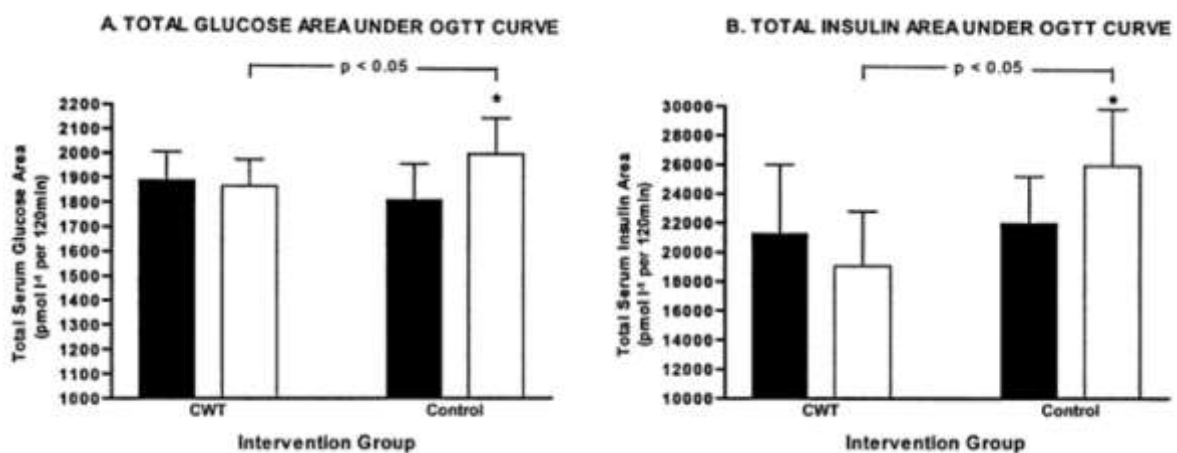


Ilustración 17. Cambios en la glucosa e insulina en el área debajo de la curva después del protocolo propuesto por Dunstan et al. (1998)

En un estudio llevado a cabo por Rodrigues et al. (2016) se evaluó la respuesta de un grupo de 14 mujeres mayores en la glucemia capilar, adaptación física y presión arterial sanguínea. Realizaron 12 semanas de entrenamiento en circuito con sobrecargas con una frecuencia de 3 veces por la semana. El circuito se compuso por 11 estaciones destinadas a todos los grupos musculares. Cada estación duró 40" y el descanso entre estaciones fue de 30". Se realizaron 3 vueltas al circuito, con una duración de 15 minutos por vuelta para un total de 45 minutos de trabajo por sesión con sobrecargas. Los resultados mostraron un descenso en los niveles de glucemia. En el estudio llevado a cabo por Takeshima et al. (2004) ya descrito se consiguió una mejora en la lipoproteína de alta densidad (HDL-c) del 18% tras un periodo de entrenamiento en circuito progresivo.

Otro estudio llevado a cabo por Kang, Lee, Park y Kang (2012) se centra en los efectos fisiológicos de un entrenamiento en circuito con sobrecargas junto a entrenamiento aeróbico en la composición corporal, el nivel de fitness físico en 16 mujeres obesas de edades

comprendidas entre 21-23 años. El protocolo duró 12 semanas y la muestra se dividió aleatoriamente en dos grupos. Un grupo se utilizó como grupo control y el otro realizó un entrenamiento en circuito con sobrecargas combinado con entrenamiento aeróbico 3 veces por semana durante 60 minutos por sesión aproximadamente.

	Type	Time (s)	Set (N)	Exercise
1	Walk or jog	30	3-6	Aerobic exercise
2	Push-up	30	3-6	Upper muscular strength
3	Jump	30	3-6	Aerobic exercise
4	Squat	30	3-6	Lower muscular strength
5	Jump	30	3-6	Aerobic exercise
6	Sit-Up	30	3-6	Abdominal strength
7	Step-up	30	3-6	Aerobic exercise
8	Crunch	30	3-6	Lower muscular strength
9	Jump up with raised arm	30	3-6	Aerobic exercise
10	Back exercise	30	3-6	Back muscular strength

Tabla 13. Variables de programación que componen el protocolo de entrenamiento con sobrecargas y aeróbico propuesto por Kang et al. (2011)

Los resultados del estudio demostraron que la combinación de circuitos con sobrecargas y trabajo aeróbico trajo efectos positivos sobre la reducción de la circunferencia de la cintura y ayudó en la prevención de enfermedades del estilo de vida debido a la combinación de ejercicios que requieren movimientos del cuerpo entero.

Variables	Group	Pre	Post	F value	P value
Body weight (kg)	TG	61.57 ± 8.14	59.27 ± 5.42	a: 0.634	a: 0.444
	CG	59.77 ± 6.69	60.88 ± 6.59	b: 0.001	b: 0.981
Body fat (%)	TG	32.27 ± 4.85	30.62 ± 3.32	a × b: 5.286	a × b: 0.044*
	CG	31.03 ± 2.09	32.30 ± 1.84	a: 1.943	a: 0.194
WC (cm)	TG	73.52 ± 3.67	70.08 ± 2.50	b: 0.015	b: 0.904
	CG	72.07 ± 3.31	73.42 ± 2.73	a × b: 10.214	a × b: 0.009**

TG training group, CG control group, WC waist circumference, a: time, b: group, a × b: time × group interaction
* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

Tabla 14. Resultado del protocolo en diversos marcadores de la composición corporal (Kang et al., 2011)

En otro estudio llevado a cabo por Ahmadizad et al., (2007) evaluaron la respuesta a un entrenamiento en circuito con sobrecargas en 24 hombres obesos y sedentarios y evaluar la respuesta en la sensibilidad a la insulina y la concentración de adiponectina y ver la relación entre la adiponectina y los cambios en la composición corporal en respuesta al protocolo de entrenamiento. La muestra de sujetos se dividió aleatoriamente en tres grupos. Un grupo realizó trabajo cardiovascular corriendo de forma continua a una intensidad correspondiente al 75-85% de la FC máxima. El entrenamiento contra resistencias consistió en cuatro series de entrenamiento en circuito en 11 estaciones a una intensidad del 50-60% de 1RM. El número máximo de repeticiones en cada estación fue de 12. Los dos tipos de entrenamiento aumentaron notablemente el consumo de oxígeno máximo. Después del entrenamiento los dos protocolos no produjeron cambios en el índice de masa corporal y el ratio cintura cadera. Sin embargo, ambos protocolos descendieron el porcentaje de grasa de forma significativa. El índice de resistencia a la insulina se redujo de forma significativa después de 12 semanas de entrenamiento en los grupos que realizaron los dos protocolos de entrenamiento.

	Endurance training		Resistance training		Control	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Weight (kg)	83.1±6.8	83.8±7.3	82.3±10.0	81.6±10.5	83.6±11.0	84.8±9.0
Body fat (%)	22.8±1.9	19.5±3.0*	22.8±1.4	18.3±4.1*	25.6±4.6	26.5±3.6
BMI (kg/m ²)	27.9±2.2	27.8±2.1	28.3±2.3	28.1±2.5	29.4±4.6	29.4±4.6
WHR (m)	0.95±0.006	0.91±0.006	0.95±0.003	0.94±0.004	0.96±0.002	0.95±0.002
VO _{2 max} (ml/kg per min)	26.3±4.8	33.2±4.9*	24.6±8.8	29.1±7.8*	23.0±6.4	20.5±5.0

*Indicates significant difference between pre- and post-training values.

Tabla 15. Cambios en diversos marcadores antropométricos y fisiológicos en respuesta a dos protocolos de diferente orientación (Ahmadizad et al., 2007)

El entrenamiento aumentó un 38,5 % la sensibilidad a la insulina, resultados similares a los obtenidos por el grupo que entrenó resistencia durante el mismo periodo (35,7%).

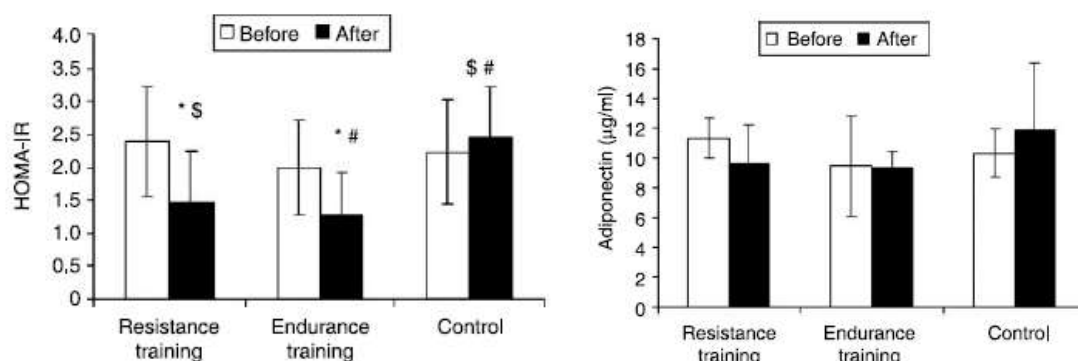


Ilustración18. Resultados en el índice de resistencia a la insulina y adiponectina en respuesta a los dos protocolos de entrenamiento (Ahmadizad et al., 2007)

El entrenamiento en circuito de alta intensidad (HICT) se ha visto también como una herramienta útil para generar cambios en la función cognitiva, como demostró un reciente estudio llevado a cabo por Gmiat et al. (2017), en el que un grupo de 14 mujeres sanas pero inactivas fueron asignadas a dos grupos, uno joven y otro de mediana edad. Realizaron una sesión de entrenamiento contra resistencia de alta intensidad utilizando su propio peso corporal como resistencia, basándose en las recomendaciones de la ACSM. Después de una sesión la función cognitiva del grupo joven mejoró la concentración y la memoria espacial, mientras que el grupo de mujeres de mediana edad esa función fue atenuada.

	YG (n = 8)		MG (n = 6)		Ratio (YG/MG)	
	Mean ± SD; ± 90% CI	Inference ^a	Mean ± SD; ± 90% CI	Inference ^a	Mean; ± 90% CI	Inference ^a
Concentration						
Adjusted base ^b	1.80 ± 7.3; ×/+5.0	Small ↑	-1.4 ×/+ 9.7; ×/+8.1	Small ↓	3.1; ×/+8.7	Mod. ↑
Adj. base & VitD ^c	4.00 ± 2.3; ×/+1.9	Mod. ↑****	-4.4 ×/+ 14.6; ×/+12.1	Mod. ↓	8.4; ×/+12.1	Large ↑****
CORSI 1 (immediate block span)						
Adjusted base ^b	1.1 ×/+ 0.7; ×/+0.5	Mod. ↑****	-0.5 ×/+ 0.8; ×/+0.7	Small ↓	1.6; ×/+0.8	Large ↑****
Adj. base & VitD ^c	1.2 ×/+ 0.6; ×/+0.4	Mod. ↑****	-0.6 ×/+ 0.9; ×/+0.7	Small ↓**	1.8; ×/+0.8	Large ↑****
CORSI 2 (correct answers)						
Adjusted base ^b	1.7 ×/+ 2.0; ×/+1.4	Mod. ↑**	-1.1 ×/+ 1.6; ×/+1.4	Small ↓**	2.7; ×/+1.8	Mod. ↑**
Adj. base & VitD ^c	2.0 ×/+ 1.7; ×/+1.2	Mod. ↑**	-1.1 ×/+ 1.6; ×/+1.4	Small ↓**	2.7; ×/+1.8	Mod. ↑**
STROOP 1 (reading interference) (s)						
Adjusted base ^b	-0.05 ×/+ 0.07; ×/+0.05	Mod. ↓**	-0.03 ×/+ 0.05; ×/+0.04	Mod. ↓**	-0.01; ×/+0.06	Small
Adj. base & VitD ^c	-0.04 ×/+ 0.07; ×/+0.05	Mod. ↓**	-0.04 ×/+ 0.05; ×/+0.05	Mod. ↓**	-0.00; ×/+0.07	Trivial
STROOP 2 (naming interference) (s)						
Adjusted base ^b	-0.06 ×/+ 0.04; ×/+0.03	Small ↓**	-0.06 ×/+ 0.02; ×/+0.01	Small ↓****	0.00; ×/+0.03	Trivial****
Adj. base & VitD ^c	-0.06 ×/+ 0.04; ×/+0.03	Small ↓**	-0.06 ×/+ 0.02; ×/+0.02	Small ↓****	0.00; ×/+0.03	Trivial****

Tabla 16. Cambios en diversos marcadores de la función cognitiva en los dos grupos que realizaron el entrenamiento en circuito con sobrecargas propuesto por Gmiat et al. (2017)

El objetivo del estudio llevado a cabo por Gauche et al (2017) fue investigar el efecto agudo de sesiones tradicionales (TR) de fuerza o sesiones en circuito (CI) en la reactividad de la presión arterial (BP) al estrés mental (MS) en mujeres mayores hipertensas. Para ello se reclutaron a 10 mujeres diagnosticadas (con 71.1±5.5 años y un IMC de 24.2±3.9), a las que se les realizó mediciones iniciales de BP y variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) en reposo, durante MS, después de una sesión de ejercicio de fuerza y después de una nueva intervención con MS tras esa sesión de ejercicio. Los resultados mostraron mejoras en la respuesta de la BP al MS después de haber realizado una sesión de ejercicio de fuerza, independientemente de que esta fuese TR o CI. En concreto, se observaron incrementos de la BP sistólica de 17.4±12.8 durante MS con respecto a reposo y de 12.5±9.6 durante MS con respecto a reposo tras haber realizado la sesión de fuerza. De igual modo, se observó incrementos menores de la BP diastólica durante MS tras la sesión de ejercicio de fuerza (incremento durante MS sin ejercicio de fuerza de 13.7±7.1 versus incremento durante MS con sesión de ejercicio de fuerza de 8.8±4.5; P=0.01). Los resultados también mostraron mejoras en la HRV tras haber realizado ejercicio de fuerza (con un componente normalizado de la frecuencia cardíaca baja de 5.3±0.8 después de MS y sin ejercicio de fuerza, y de 4.8±1.0 después de MS y con sesión de fuerza; P=0.023). Los resultados obtenidos muestran que el

ejercicio de fuerza, sea a través de TR o de CI, es beneficioso en la respuesta de la BP al MS, lo que hace que estos protocolos deberían introducirse en la práctica clínica en pacientes mayores con HTN, con el fin de poder reducir el riesgo de posibles problemas cardiovasculares posteriores.

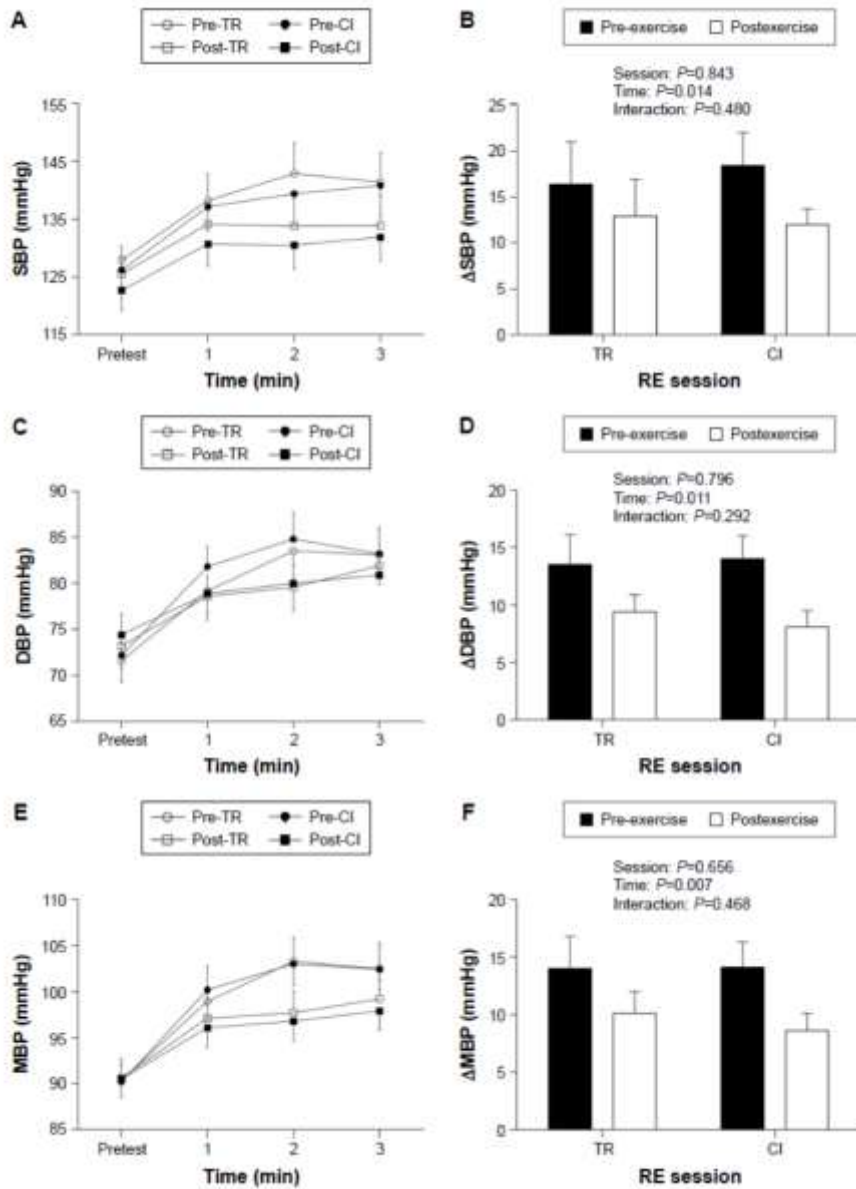


Ilustración 19. Cambios en los diferentes marcadores de la presión arterial determinados en el protocolo (Gauche et al., 2017)

6- Síntesis final

Tras la revisión realizada parece evidente que el entrenamiento de fuerza en circuito presenta mejoras a nivel de la composición corporal, condición física y marcadores fisiológicos de salud en diversas poblaciones. La Asociación Americana de Medicina del Deporte (ACSM) y la Asociación Americana del Corazón (AHA) recomiendan realizar como mínimo para personas menores de 65 años 8-10 ejercicios de fuerza de 12 repeticiones por cada ejercicio dos días a la semana. Estas directrices se pueden alcanzar de forma efectiva a través de un entrenamiento en circuito con sobrecargas. La mayoría de estudios se aplican a una población de edad avanzada e inactiva, por lo que es de gran importancia el demostrado efecto positivo de este tipo de protocolos en este grueso poblacional muy amplio en algunos países. Por otro lado, el déficit de estudios en atletas o individuos entrenados impide extraer resultados aplicables a sujetos de rendimiento deportivo alto. Otro aspecto a destacar es que el entrenamiento de fuerza en circuito es una de las modalidades de entrenamiento, no solo más saludable, sino sobre todo que más adherencia provoca (Chicharro, 2017), aspecto a tener en cuenta en la elaboración de programas de entrenamiento, puesto que el trabajo contra resistencias a pesar de ser uno de los mejores métodos para el acondicionamiento muscular y ganancia de fuerza muchas veces se ve obstaculizado por una falta de adherencia (Buch et al., 2017). A este respecto, una característica importante de este tipo de protocolos es que permite la posibilidad de que un gran número de personas participen en las sesiones de ejercicio. Este hecho corresponde una gran variedad de ejercicios como el aumento de las relaciones interpersonales con la práctica del ejercicio, llevando a un mayor nivel de motivación durante el entrenamiento (Bocalini et al., 2012). Para que esto último se cumpla realmente el entrenamiento debe variar constantemente, lo que hace necesario una participación activa de los entrenadores en el proceso de acondicionamiento. Lo peor que puede pasar para cualquier programa de ejercicio es la monotonía, a este respecto, el entrenamiento de fuerza en circuito según diversos expertos debería ser la primera opción para personas que buscan salud por medio del ejercicio (Chicharro, 2017). La mayoría de estudios que se han llevado a cabo presentan una duración temporal corta, y aunque en la mayoría se evidencian adaptaciones favorables en gran cantidad de marcadores, deberían realizarse estudios longitudinales a largo plazo para evidenciar puntos en los que las adaptaciones sufran estancamientos y posibilitar la elaboración de una periodización que genere mejoras constantes. Entre los sujetos que buscan un descenso del peso corporal así como del porcentaje graso y masa grasa, este tipo de protocolos puede resultar de gran interés por el coste energético que generan a través de la utilización de sustratos energéticos

y por el efecto del EPOC que viene influenciado por la óptima programación de diferentes variables y no tanto por el orden de ejecución de los ejercicios (Da Silva et al., 2010), como el intervalo de descanso entre series, debido a esto, el entrenamiento contra resistencias puede tener un mayor impacto en la quema de grasas que el entrenamiento con orientación aeróbica (Scott, Luchini, Krausenberger y Steitz, 2014). Por otro lado, la elección de los ejercicios deber centrarse en el objetivo en concreto, teniendo en cuenta que el coste metabólico de un ejercicio está directamente relacionado con la masa muscular implicada (Elliot, Goldberg y Kuehk, 1992), por lo que la ejecución de ejercicios multiarticulares como la sentadilla o el peso muerto que implican grandes masas musculares puede ser óptimo para este objetivo. Por otro lado, las características individuales del sujeto así como sus posibles disfunciones o patologías también determinarán la selección de los ejercicios.

Las intensidades que se emplean en la mayoría de protocolos suelen ser bajas (40-60% de 1RM), pero suficientes para generar adaptaciones a nivel muscular en sujetos desentrenados así como entrenados, en estos últimos siempre que se trabaje con un carácter del esfuerzo alto en las series de altas repeticiones (Schoenfeld, Peterson, Ogborn, Contreras y Sonmez, 2015). Por otro lado, las ganancias en fuerza máxima no parecen ser tan altas que cuando se trabaja con cargas que superan el 70-80% de 1RM, y suele haber una tendencia a una mayor ganancia de fuerza resistencia con cargas bajas (Schoenfeld et al., 2014). La ejecución de altas repeticiones en las series favorece un mayor gasto energético total que utilizar intensidades por encima del 70% (Scott, Leighton, Ahear y McManus, 2011), así como una reducción en los tiempos de descanso de al menos de 30" (Haltom, 1999). Los efectos sobre la densidad mineral ósea, como bien demostraron algunos estudios como el llevado a cabo por Brentano et al. (2008), son muy reducidos o nulos con intensidades tan bajas, por lo que se precisa aumentar la intensidad de carga para generar efectos producentes en esta variable fisiológica. Respecto a la velocidad de trabajo, suele ser lenta en la mayoría de protocolos, lo que no potencia el desarrollo de la fuerza rápida, capacidad fundamental y que presenta una gran involución en sujetos de edad avanzada (Boyle, 2012).

Por otro lado, es de vital importancia regular el carácter del esfuerzo para evitar conversiones fibrilares contraproducentes a esta última capacidad (Harber et al., 2014), aunque aproximarse a niveles de esfuerzo más altos incrementa la quema calórica intra y postentreno (Scott et al., 2011). Cabe destacar que el entrenamiento con velocidades lentas presenta menores ventajas que el entrenamiento tradicional en el gasto energético y respuesta cardíaca, siendo menos recomendable para el objetivo de pérdida de grasa (Hunter, Seelhorst y Snyder, 2003). A este respecto y una variable a la que se le suele dar poca importancia en muchos trabajos es la fase excéntrica con la que se realizan los ejercicios, siendo ésta importante para que se generen adaptaciones en los elementos pasivos musculares y para

favorecer un alargamiento del EPOC postejercicio, además de aumentar del consumo energético para la reparación del daño muscular causado durante este tipo de acción muscular (Dolezal, Potteiger, Jacobsen y Benedict, 2000). Respecto al EPOC, parece ser más importante la reducción de los tiempos de descanso entre series que la carga movilizada total (Murphy y Schwarzkopf, 1992). Otra variable es la alternancia de grupos musculares, habiendo indicios de un mayor costo energético cuando se realiza un entrenamiento en superseries, es decir, combinando grupos musculares antagonistas (Kelleher, Hackney, Fairchild, Keslacy y Ploutz-Snyder, 2010).

Por último destacar el importante papel que juega la frecuencia de entrenamiento en la consecución de las adaptaciones óptimas al entrenamiento en circuito. En la mayoría de protocolos una frecuencia semanal de 3 sesiones fue suficiente para optimizar los resultados, pero sería interesante realizar estudios con frecuencias y volúmenes mayores para posibilitar una mayor consecución de los objetivos.

6.1- Perspectiva de futuro

Se necesitan más estudios para comparar las posibles ventajas del entrenamiento en circuito respecto a otros métodos de entrenamiento. Estos estudios se deben centrar en protocolos en los que se estimulen las variables que parecen estar relacionadas con la salud y la sensación de bienestar en población mayor, como es la resistencia aeróbica, la fuerza y la potencia muscular, incremento de la masa muscular, reducción de la masa grasa y que provoque adaptaciones sobre la densidad mineral ósea (Arenas et al., 2011). Por otro lado, también se deben llevar investigaciones sobre grupos poblacionales entrenados.

6.2- Valoración personal y reflexión crítica

Como entrenador personal de multitud de sujetos, el entrenamiento en circuito con sobrecarga me parece una herramienta muy útil para la mejora de la condición física de los sujetos así como la mejora de la composición corporal y parámetros saludables como han demostrado los resultados de estudios expuestos así como de pruebas específicas realizadas a diferentes clientes a los que entreno con estudios bioimpedancia y analíticas sanguíneas. Hay que tener en cuenta que a menor nivel de condición física inicial del sujeto, casi cualquier programa de ejercicio mejora los componentes del fitness o condición física (Chicharro, 2017), por lo que este tipo de protocolos inespecíficos que buscan una mejora de la condición física global se presenta como un método muy útil en este grueso poblacional.

7- Bibliografía

Ahmadizad, S., Haghghi, A. H., & Hamedinia, M. R. (2007). Effects of resistance versus endurance training on serum adiponectin and insulin resistance index. *European journal of Endocrinology*, 157(5), 625-631.

Almstedt, H. C., Grote, S., Korte, J. R., Beaudion, S. P., Shoepe, T. C., Strand, S., & Tarleton, H. P. (2016). Combined aerobic and resistance training improves bone health of female cancer survivors. *Bone reports*, 5, 274-279.

Aniceto, R. R., Ritti-Dias, R. M., Dos Prazeres, T. M., Farah, B. Q., de Lima, F. F., & do Prado, W. L. (2015). Rating of perceived exertion during circuit weight training: a concurrent validation study. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(12), 3336-3342.

Añón, P. (2013). Entrenamiento intervalado de alta intensidad (HIIT) y su efectividad para la mejora de la composición corporal: claridad frente a la confusión. Retrieved from Grupo Sobreentrenamiento: <http://g-se.com/es/salud-y-fitness/blog/entrenamiento-intervaladode-alta-intensidad-hiit-y-su-efectividad-para-la-mejora-de-la-composicion-corporal-claridadfrente-a-la-confusion>.

Arenas, S. R. (2014). *Efecto de un entrenamiento en circuito a alta intensidad sobre la composición corporal, la fuerza, la capacidad cardiorrespiratoria y el estado de salud en la tercera edad* (Doctoral dissertation, Universidad Católica San Antonio de Murcia).

Balsom, Paul D., et al. "High-intensity exercise and muscle glycogen availability in humans." *Acta Physiologica Scandinavica* 165 (1999): 337-346.

Becerro, M., & Francisco, J. (2016). El entrenamiento de fuerza en los deportistas mayores. *Arch. med. deporte*, 332-337.

Beckham, S. G., & Earnest, C. P. (2000). Metabolic cost of free weight circuit weight training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(2), 118.

Benito, P. J., Alvarez, M., Díaz, V., Morencos, E., Peinado, A. B., Cupeiro, R., & Pronaf Study Group. (2016). Cardiovascular fitness and energy expenditure response during a combined aerobic and circuit weight training protocol. *PloS one*, 11(11), e0164349.

Benito, P. J., Álvarez, M., Morencos, E., Cupeiro, R., Díaz, V., & Peinado, A. B. (2011). Gasto energético aeróbico y anaeróbico en un circuito con cargas a seis intensidades diferentes. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 24(7), 174-90.

Berlanga, L. (2016). Respuesta del fitness cardiovascular y el gasto energético durante un protocolo combinado de entrenamiento aeróbico y circuito pesado. <http://www.fisiologiadelejercicio.com/respuesta-del-fitness-cardiovascular-gasto-energetico-protocolo-combinado-entrenamiento-aerobico-circuito-pesado/>

Billat, L. V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Sports Medicine*, 31(1), 13-31.

- Bocalini, D. S., Lima, L. S., de Andrade, S., Madureira, A., Rica, R. L., dos Santos, R. N., ... & Pontes Jr, F. L. (2012). Effects of circuit-based exercise programs on the body composition of elderly obese women. *Clinical interventions in aging*, 7, 551.
- Bompa, T. O., & Cornacchia, L. J. (2002). *Musculación. Entrenamiento avanzado*. Editorial Hispano Europea.
- Boyle, M. (2012). *Advances in functional training: training techniques for coaches, personal trainers and athletes*. On Target Publications.
- Boyle, M., Cosgreve A., Vertegen M. (2010) *Advances in functional training*. ISBN 978-1-931046-115 Versión Digital.
- Brentano, M. A., Cadore, E. L., Da Silva, E. M., Ambrosini, A. B., Coertjens, M., Petkowicz, R., & Krueel, L. F. (2008). Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women with bone loss. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(6), 1816-1825.
- Buch, A., Kis, O., Carmeli, E., Keinan-Boker, L., Berner, Y., Barer, Y.,... & Stern, N. (2017). Circuit resistance training is an effective means to enhance muscle strength in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*.
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Sports medicine*, 43(5), 313-338.
- Buckley, S., Knapp, K., Lackie, A., Lewry, C., Horvey, K., Benko, C., & Butcher, S. (2015). Multimodal high-intensity interval training increases muscle function and metabolic performance in females. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(11), 1157-1162.
- Chicharro, J.L. (2017). Efectos del entrenamiento de fuerza en circuito sobre VO₂max. <http://www.fisiologiadelejercicio.com/efectos-del-entrenamiento-fuerza-circuito-vo2max/>
- Chicharro, J.L. (2017). Chicharro, J.L. (2017). *Entrenamiento de fuerza en circuito en mujeres de edad avanzada*. <http://www.fisiologiadelejercicio.com/entrenamiento-fuerza-circuito-mujeres-edad-avanzada/>
- Chicharro, J.L. (2017). Entrenamiento interválico de potencia de alta intensidad. <http://www.fisiologiadelejercicio.com/entrenamiento-intervalico-potencia-alta-intensidad/>
- Da Silva, R. L., Brentano, M. A., & Krueel, L. F. M. (2010). Effects of different strength training methods on postexercise energetic expenditure. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(8), 2255-2260.
- Dolezal, B. A., Potteiger, J. A., Jacobsen, D. J., & Benedict, S. H. (2000). Muscle damage and resting metabolic rate after acute resistance exercise with an eccentric overload. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(7), 1202-1207.
- Dunstan, D. W., Puddey, I. B., Beilin, L. J., Burke, V., Morton, A. R., & Stanton, K. G. (1998). Effects of a short-term circuit weight training program on glycaemic control in NIDDM. *Diabetes research and clinical practice*, 40(1), 53-61.

- Elsisi, H. F. E. M., Mousa, G. S. M., & ELdesoky, M. T. M. (2015). Electromagnetic field versus circuit weight training on bone mineral density in elderly women. *Clinical interventions in aging, 10*, 539.
- Elliot, D. L., Goldberg, L., & Kuehl, K. S. (1992). Effect of resistance training on excess post-exercise oxygen consumption. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 6*(2), 77-81.
- Fader, F. (2013). Entrenamiento de Intervalos de Alta Intensidad (HIIT) en Corredores: Consideraciones Generales. *PubliCE Standard*.
- Fett, C. A., Fett, W. C. R., & Marchini, J. S. (2009). Circuit weight training vs jogging in metabolic risk factors of overweight/obese women. *Arquivos brasileiros de cardiologia, 93*(5), 519-525.
- Foureaux, G., Pinto, K. M. D. C., & Dâmaso, A. (2006). Efeito do consumo excessivo de oxigênio após exercício e da taxa metabólica de repouso no gasto energético. *Rev Bras Med Esporte, 12*(6), 393-8.
- Gauche, R., Ferreira-Júnior, J. B., Gadelha, A. B., Neri, S. G., Bottaro, M., Vianna, L. C., & Lima, R. M. (2017). Session Perceived Exertion Following Traditional and Circuit Resistance Exercise Methods in Older Hypertensive Women. *Perceptual and motor skills, 124*(1), 166-181.
- Gettman, L. R., Ward, P., & Hagan, R. D. (1982). A comparison of combined running and weight training with circuit weight training. *Medicine and science in sports and exercise, 14*(3), 229-234.
- Gibala, M. J., & Jones, A. M. (2013). Physiological and performance adaptations to high-intensity interval training. In *Limits of Human Endurance* (Vol. 76, pp. 51-60). Karger Publishers.
- Gibala, M. J., Little, J. P., MacDonald, M. J., & Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of physiology, 590*(5), 1077-1084.
- Gillen, J. B., & Gibala, M. J. (2013). Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness?. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 39*(3), 409-412.
- Gmiat, A., Micielska, K., Kozłowska, M., Flis, D. J., Smaruj, M., Kujach, S., & Ziemann, E. (2017). The impact of a single bout of high intensity circuit training on myokines' concentrations and cognitive functions in women of different age. *Physiology & Behavior, 179*, 290-297.
- Haltom, R. W., Kraemer, R. R., Sloan, R. A., Hebert, E. P., Frank, K. A. R. L., & Tryniecki, J. L. (1999). Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 31*(11), 1613-1618.
- Harber, M. P., Fry, A. C., Rubin, M. R., Smith, J. C., & Weiss, L. W. (2004). Skeletal muscle and hormonal adaptations to circuit weight training in untrained men. *Scandinavian journal of medicine & science in sports, 14*(3), 176-185.

- Heredia, J. R., et al. "Guía de ejercicios de fitness muscular." *Local: Sevilla, Editorial Wanceulen* (2011).
- Hunter, G. R., Seelhorst, D., & Snyder, S. (2003). Comparison of metabolic and heart rate responses to super slow vs. traditional resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 76-81.
- Kang, H. J., Lee, Y. S., Park, D. S., & Kang, D. H. (2012). Effects of 12-week circuit weight training and aerobic exercise on body composition, physical fitness, and pulse wave velocity in obese collegiate women. *Soft Computing*, 16(3), 403-410.
- Kelleher, A. R., Hackney, K. J., Fairchild, T. J., Keslacy, S., & Ploutz-Snyder, L. L. (2010). The metabolic costs of reciprocal supersets vs. traditional resistance exercise in young recreationally active adults. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 1043-1051.
- Klika, B., & Jordan, C. (2013). High-intensity circuit training using body weight: Maximum results with minimal investment. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 17(3), 8-13.
- Kravitz, L. (1996). The fitness professional's complete guide to circuits and intervals. *Idea Today*, 14(1), 32-43.
- Malarvizhi, D., Reshmi J.K.N., & Sivakumar, V.P.R (2017). Effect of treadmill training versus high intensity circuit training in overweight individuals. *International Journal of Clinical Skills*. 11(1), 35–40.
- Marchante, D. (2015). Powerexplosive: Entrenamiento eficiente. *Ed Luhu*.
- Mazini, F. M., Aidar, F. J., Gama, D. M. D., Costa, M. O., Patrocínio, D. O. C., de Oliveira, V. G., & Caputo, F. M. (2017). Circuit strength training improves muscle strength, functional performance and anthropometric indicators in sedentary elderly women. *The Journal of sports medicine and physical fitness*.
- Melby, C., Scholl, Edwards, G. & Bullough, R. (1993). Effect of acute resistance exercise on postexercise energy expenditure and resting metabolic rate. *Journal of Applied Physiology*, 75(4), 1847-1853.
- Monteiro, A. G., Alveno, D. A., Prado, M., Monteiro, G. A., Ugrinowitsch, C., Aoki, M. S., & Picarro, I. C. (2008). Acute physiological responses to different circuit training protocols. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(4), 438.
- Murphy, E., & Schwarzkopf, R. (1992). Effects of Standard Set and Circuit Weight Training on Excess Post-exercise Oxygen Consumption. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 6(2), 88-91.
- Paoli, A., Pacelli, F., Bargossi, A. M., Marcolin, G., Guzzinati, S., Neri, M., & Palma, A. (2010). Effects of three distinct protocols of fitness training on body composition, strength and blood lactate. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 50(1), 43.
- Paoli, A., Pacelli, Q. F., Moro, T., Marcolin, G., Neri, M., Battaglia, G., & Bianco, A. (2013). Effects of high-intensity circuit training, low-intensity circuit training and endurance training on blood pressure and lipoproteins in middle-aged overweight men. *Lipids in health and disease*, 12(1), 131.

- Pollock, M. L., Gaesser, G. A., Butcher, J. D., Després, J. P., Dishman, R. K., Franklin, B. A., & Garber, C. E. (1998). ACSM position stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 30(6), 975-991.
- Romero-Arenas, S., Blazevich, A. J., Martínez-Pascual, M., Pérez-Gómez, J., Luque, A. J., López-Román, F. J., & Alcaraz, P. E. (2013). Effects of high-resistance circuit training in an elderly population. *Experimental gerontology*, 48(3), 334-340.
- Romero-Arenas, S., Martínez-Pascual, M., & Alcaraz, P. E. (2013). Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. *Aging and disease*, 4(5), 256.
- Romero-Arenas, S., Pérez-Gómez, J., & Alcaraz, P. E. (2011). Entrenamiento en circuito. ¿Una herramienta útil para prevenir los efectos del envejecimiento?. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 6(18).
- Scott, C. B., Leighton, B. H., Ahearn, K. J., & McManus, J. J. (2011). Aerobic, anaerobic, and excess postexercise oxygen consumption energy expenditure of muscular endurance and strength: 1-set of bench press to muscular fatigue. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(4), 903-908.
- Scott, C. B., Luchini, A., Krausenberger, A., & Steitz, A. (2014). Total energy costs-aerobic and anaerobic, exercise and recovery-of five resistance exercises. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 2(4).
- Serafini, P., Mimms, H., Smith, M., Kilszczewicz, B., & Feito, Y. (2016). Body composition and strength changes following 16-weeks of high-intensity functional training. *Med Sci Sports Exerc*, 48(5S), 1001.
- Siff, M. C., & Verkoshansky, Y. (2004). *Superentrenamiento* (Vol. 24). Editorial Paidotribo.
- Smith, M. M., Sommer, A. J., Starkoff, B. E., & Devor, S. T. (2013). Crossfit-based high-intensity power training improves maximal aerobic fitness and body composition. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(11), 3159-3172.
- Sperlich, B., Wallmann-Sperlich, B., Zinner, C., Von Stauffenberg, V., Losert, H., & Holmberg, H. C. (2017). Functional High-Intensity Circuit Training Improves Body Composition, Peak Oxygen Uptake, Strength, and Alters Certain Dimensions of Quality of Life in Overweight Women. *Frontiers in physiology*, 8.
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2857-2872.
- Schoenfeld, Brad J., et al. "Effects of low-vs. high-load resistance training on muscle strength and hypertrophy in well-trained men." *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29.10 (2015): 2954-2963.
- Swain, D. P. (2005). Moderate or vigorous intensity exercise: which is better for improving aerobic fitness?. *Preventive cardiology*, 8(1), 55-58.
- Skidmore, B. L., Jones, M. T., Blegen, M., & Matthews, T. D. (2012). Acute effects of three different circuit weight training protocols on blood lactate, heart rate, and rating of perceived exertion in recreationally active women. *Journal of sports science & medicine*, 11(4), 660.

Takeshima, N., Rogers, M. E., Islam, M. M., Yamauchi, T., Watanabe, E., & Okada, A. (2004). Effect of concurrent aerobic and resistance circuit exercise training on fitness in older adults. *European journal of applied physiology*, 93(1-2), 173-182.

Tesch, P. A. (1992). Training for bodybuilding. *Strength and power in sport*, 3, 370-9.

Trezise, J., Collier, N., & Blazevich, A. J. (2016). Anatomical and neuromuscular variables strongly predict maximum knee extension torque in healthy men. *European journal of applied physiology*, 116(6), 1159-1177.

Viedma, A. (2014). Entrenamiento funcional de alta intensidad. <http://g-se.com/es/entrenamiento-de-la-fuerza-y-potencia/blog/entrenamiento-funcional-de-alta-intensidad-por-alex-viedma>

Weinsier, R. L., Schutz, Y., & Bracco, D. (1992). Reexamination of the relationship of resting metabolic rate to fat-free mass and to the metabolically active components of fat-free mass in humans. *The American journal of clinical nutrition*, 55(4), 790-794.

Weisenthal, B. M., Beck, C. A., Maloney, M. D., DeHaven, K. E., & Giordano, B. D. (2014). Injury rate and patterns among CrossFit athletes. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2(4), 2325967114531177.

Wilmore, J. H., Parr, R. B., Ward, P., Vodak, P. A., Barstow, T. J., Pipes, T. V., & Leslie, P. (1978). Energy cost of circuit weight training. *Medicine and science in sports*, 10(2), 75-78.

